

Tielaitos

Petri Roimela

Päällystetutka tiiviiden laadunvalvonnassa



Tielaitoksen
selvityksiä

6/1999

Rovaniemi 1999

Konsultointi
Tiestötietopalvelut

Tielaitoksen selvityksiä
6/1999

Petri Roimela

Päällystetutka tiiviyyden laadunvalvonnassa

Tielaitos
Konsultointi

Rovaniemi 1999

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-496-8
TIEL 3200552
Pohjolan painotuote Oy
Rovaniemi 1999

Julkaisun myynti
Tielaitos, kirjasto
Faksi 0204 44 2652

Tielaitos
Konsultointi
Hallituskatu 1-3
PL 103
96101 ROVANIEMI
Puhelinvaihde 0204 44 159

Tiivistelmä

Päälystetutkatutkimukset aloitettiin vuonna 1996 Lapin tiepiirin aloitteesta. Vuosina 1996-1997 tehtiin menetelmän toimivuuden selvittämiseksi lukuisia laboratorio- ja kenttätutkimuksia. Näissä tutkimuksissa todettiin menetelmän soveltuvuus tyhjätilamittauksiin. Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli varmistaa vertailumittauksin menetelmän toimivuus laadunvalvontamittauksissa sekä selvittää eri mittausmenetelmien tuloksissa mahdollisesti olevia eroja. Tutkimuksessa mitattiin samoista kohteista porapala-, DOR- ja päälystetutkamittaukset. Vertailussa keskityttiin vertailemaan kohteiden keskiarvoja, keskihajontoja sekä ylitys- ja alitusprosentteja. Mittauksia tehtiin kesän -98 aikana neljän tiepiirin alueella: Lapin, Oulun, Uudenmaan sekä Vaasan tiepiireissä. Jokaisessa tiepiirissä kohteita oli noin 25-30 kilometriä.

Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että keskiarvojen välillä on vahva korrelaatio kaikkien menetelmien kesken. Päälystetutkan ja poranäytteiden keskiarvot eri kohteissa olivat pääsääntöisesti lähellä toisiaan. DOR-menetelmällä saadaan alhaisimmat tyhjätila-arvot. Sen sijaan DOR-tuloksissa keskihajonta on selvästi suurempi kuin muilla menetelmillä. Kuitenkin keskinkertainen korrelaatio on DOR-tulosten ja päälystetutkatulosten keskihajontojen välillä. Sen sijaan poranäytetulosten keskihajonnat eivät korreloi muiden menetelmien kanssa, mikä oli myös odotettavissa, koska poranäytteiden määrä on pieni verrattuna muiden menetelmien näytemäärään.

Ylitysprosenttien osalta oli selviä eroja. Poranäytteiden perusteella arvonmuutoksia ylityksen osalta olisi tullut kahdeksassa kohteessa yhdestätoista. Päälystetutkalla arvonmuutoksia olisi syntynyt kahdessa kohteessa. DOR-menetelmällä arvonmuutoksia ylityksen osalta ei olisi tullut yhdessäkään kohteessa. Alitusten osalta erot olivat pieniä. Porapalojen perusteella alitusta arvonmuutoksen verran oli Vt 3:lla. Muilla menetelmillä arvonmuutoksia alituksen perusteella ei olisi syntynyt. Osasyynä eroihin on menetelmien erilaiset ylitys- ja alitusprosenttien laskutavat. Tämä ei kuitenkaan selitä kokonaan eroavaisuuksia.

Tulosten ja aikaisempien tutkimusten perusteella voidaan todeta, että päälystetutkaa voidaan käyttää yhtenä päällysteen tiiviyden laadunarviointimenetelmänä, kun mittaukset kalibroidaan luotettavasti käytettävälle massalle. Korrelaatiot eri menetelmien välillä ovat vahvoja. Tulosten tasoissa on jonkin verran eroja. Raja-arvoina arvonmuutoksille käytetään päälystetutkalla samoja raja-arvoja kuin porapaloilla ja DOR-menetelmällä. Keskihajonnan perusteella ei arvonmuutoslaskelmia päälystetutkalla tehdä.

Päälystetutkamenetelmän etuja on useita. Mittaukset tapahtuvat liikennevirran mukana noin 50 km/h nopeudella. Tuloksena saadaan jatkuva profiili koko kohteesta. Samoista mittaustuloksista voidaan päivittää KURRE:n maatukamittaustiedot. Lisäksi tilastomatemattista laskelmaa ei tarvitse, vaan ylitys ja alitusprosentit saadaan suoraan ylittävien ja alittavien osuuk-sien ja koko mittauspituuden suhteesta.

Key words quality control, measuring, GPR, pavements, density

Abstract

The series of investigations using pavement radar (ground penetrating radar) in pavement quality control were initiated in 1996 by the Road District of Lapland. In 1996-1997 several laboratory and field surveys were performed in order to test the method. The results of these surveys confirmed that the pavement radar technique can be applied to measure air voids content of new asphalt pavements. The aim of this study was to verify the applicability of pavement radar technique in quality control surveys by comparative measurements conducted with conventional asphalt quality control methods in the same survey sites, and by controlling the divergences in the measurement results of the different methods. The survey methods compared were laboratory analysis of drill core samples, the DOR method and the pavement radar method.

In the comparative study, comparisons were made between calculated mean values, standard deviations, and percentages of measured values exceeding or falling below the accepted air voids content. Field surveys were carried out during the summer 1998 in paving sites of the road districts of Lapland, Oulu, Uusimaa and Vaasa. The total length of the surveyed roads in each district was 25-30 km.

The results of this survey show that there is a good correlation between the mean values of all used measurement methods. The absolute mean values of the pavement radar and drill core results are mainly quite congruent, while DOR measurements show lower air voids content values. The standard deviation values in DOR measurement results are markedly higher than in the results of the other two methods. There is, however, a distinctive correlation between the results of the DOR method and of the pavement radar method. The standard deviation values of drill core results do not correlate with those of the other methods, which was expectable because of the small amount of drill core samples in comparison to the amount of samples in the other methods.

The research results also show a clear distinction between the methods as to the percentages of measured air void contents exceeding the standards set in quality specifications. According to the drill core results, price deduction could be claimed because of too high air voids content in eight projects out of eleven. Pavement radar results would have given cause to price deductions in two sites, but according to the DOR results; all surveyed pavement sections would have passed the quality control. When comparing the percentages of measured air voids values falling under the accepted values, the differences between each method are small. Drill core results would entitle reimbursement in one surveyed section (HW 3), but other methods do not give any evidence for price deduction claims. Different algorithms used in calculations can partly explain these differences between the methods, but they do not explain all the disparity.

Alkusanat

Tässä raportissa esitellään vuoden 1998 tyhjätilatutkimuksia. Tutkimus toteutettiin vertailemalla eri menetelmien kohteittaisia tuloksia toisiinsa. Lisäksi on esitetty päällystetutkan työohje tyhjätilamittauksiin sekä arvomuutosperusteet tyhjätiloille päällystetutkamittauksissa. Mukana projektissa ovat olleet Asfalttiliitto ry, Roadscanners Oy, Keskushallinnon tie- ja liikennetekniikka -yksikkö, Lapin, Oulun, Uudenmaan ja Vaasan tiepiirit, Päällystysyksikkö sekä Konsultointi.

Julkaisun on valmistanut työryhmä, johon ovat kuuluneet toimitusjohtaja *Heikki Jämsä* Asfalttiliitosta, toimitusjohtaja *Timo Saarenketo* Roadscanners Oy:stä, DI *Mats Reihe* Tie- ja liikennetekniikka -yksiköstä, ins. *Kalevi Luiro* Lapin tiepiiristä, rkm *Antero Pohjanen* Oulun tiepiiristä, ins. *Viljo Seppänen* Uudenmaan tiepiiristä ja ins. *Arvo Lähde* Vaasan tiepiiristä. Päällystysyksiköstä mukana olivat ins. *Jorma Paananen*, ins. *Esko Laitinen* sekä rkm *Reijo Jääskö*. Konsultoinnista mukana olivat DI *Seppo Salmenkaita* sekä DI *Petri Roimela*, joka toimi raportin kirjoittajana. Hajontojen tilastollisen analyysin on tehnyt FM *Seppo Järvinen* Inframan Oy:stä.

Rovaniemellä tammikuussa 1999

Tielaitos
Konsultointi, Tiestötietopalvelut

Sisältö

OSA 1

1	JOHDANTO	9
2	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSMENETELMÄT	10
2.1	Tutkimuksen tavoitteet	10
2.2	Tutkimusmenetelmät	10
3	MITTAUKSET	12
3.1	Mittauskohteet	12
3.2	Mittausten toteutus	14
4	TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	17
4.1	Yleistä	17
4.2	Mittaustulokset	17
4.3	Tulosten analysointi	18
4.3.1	Yleistä	18
4.3.2	Keskiarvot ja -hajonnat	19
4.3.3	Ylitys- ja alitusprosentit	22
4.3.4	GIS-karttojen analysointi	25
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	26

OSA 2

6	PÄÄLLYSTETUTKAN TYÖOHJE TYHJÄTILAMITTAUKSIIN	28
6.1	Teoria	28
6.2	Laitteisto	28
6.3	Mittaus	28
6.4	Tyhjätilan laskenta	29
6.5	Tulokset	29
7	ARVONMUUTOSPERUSTEET	30
	KIRJALLISUUSLUETTELO	31
	LIITTEET	33

1 JOHDANTO

Päällystystöissä laadunvalvonnalla on merkittävä vaikutus tasokkaan lopputuloksen saavuttamisessa. Viime vuosina tiiviiden laadunvalvonta on tehty lähinnä DOR -menetelmän tai poranäytteiden avulla. Uutena menetelmänä tässä selvityksessä esitellään päällystetutka, jonka etuna on mittausten kattavuus ja mittauksen nopeus. Lisäksi samalla mittauksella saadaan informaatiota rakenteen paksuuksista.

Päällystetutkatutkimukset aloitettiin vuonna 1996. Tutkimuksia jatkettiin 1997, jolloin näiden kahden vuoden tutkimuksista ilmestyi Tielaitoksen selvityksiä 4/1998 "Päällystetutkatutkimukset 1996-1997" (Roimela 1998). Näissä tutkimuksissa todettiin menetelmän toimivuus yksittäisien tulosten osalta, mutta haluttiin varmistua kokonaisuuden toimivuudesta tekemällä lisää vertailevia kenttätutkimuksia. Tutkimuksissa ollaan kiinnostuneita erityisesti arvonmuutoksiin vaikuttavista tekijöistä, kuten kohteen keskiarvosta, keskihajonnasta sekä ylitys- ja alitusprosentteista.

Tutkimusprojektin taustana on Timo Saarenkedon 1996 (Saarenketo 1996) tekemä aloite, jossa esitettiin periaatteet päällystetutkan ja dielektrisyyssondin käytöstä päällysteen tyhjätilan ja/tai bitumipitoisuuden riippuvuudesta. Mittaukset päällystetutkalla perustuvat päällysteen dielektrisyiden vaihteluihin. Materiaalin dielektrisillä ominaisuuksilla tarkoitetaan niitä varausten siirtymiä, jotka ovat ominaisia kokonaisuudessaan sähköisesti neutraalille kappaleelle. Menetelmän teoreettiset lähtökohdat ja laskentaperiaatteet on esitetty "Päällystetutkatutkimukset 1996-1997" (Roimela 1998) julkaisussa. Projektin tuloksia esitetty myös seuraavissa julkaisuissa: Saarenketo, T. 1997, Roimela ja Saarenketo 1998, Saarenketo ja Roimela 1998.

Raportti jakaantuu kahteen osaan: itse tutkimuksen selvitykseen sekä päällystetutkan työhjeeseen ja arvonmuutosperusteisiin. Tässä raportissa ei käydä enää läpi menetelmän teoriaa, vaan selvitetään tehdyt mittaukset ja niiden tulokset sekä johtopäätökset. Mittauksia tehdään kolmella eri menetelmällä, päällystetutkalla, DOR-laitteistolla sekä poranäytteitä ottamalla. Jokaisella menetelmällä lasketaan kohteesta mitattavat suureet, joita vertaillaan ja arvioidaan suhteessa toisiinsa. Toisessa osassa esitetään erityisohjeet päällystetutkalle tyhjätilamittauksia varten. Yleiset työhjeet on esitetty työtapakuvauksessa (Tielaitos 1999). Lisäksi esitetään arvonmuutosperusteet päällystetutkamittauksiin ylitys- ja alitusprosentteille.

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli varmistaa suuremman aineiston avulla päällystetutkan toimivuus tyhjätilamittauksissa ja luoda valmiudet uuden menetelmän käyttöönotolle vuodelle 1999. Menetelmän toimivuus oli todettu jo vuosien 1996-1997 tutkimuksissa vertailtaessa yksittäisiä mittaustuloksia, mutta nyt haluttiin varmistaa menetelmän toimivuus varsinaisessa laadunvalvonnassa. Samalla saatiin tietoa eri menetelmien tulosten yhtenäisyydestä sekä mahdollisten eroavaisuuksien syistä.

Tutkimustulosten ja saatujen kokemusten perusteella työohje ja arvonmuutosperusteet päällystetutkalla tehtäviä tiiviyn laadunvalvontamittauksia varten. Yleiset maatutkauksen työohjeet on esitetty maatutkan työtapakuvaussessa (Tielaitos 1999). Nämä ohjeet luovat pohjan tyhjätilamittausten ohjeistolle. Tyhjätilamittausten työohjeessa kuvataan lähinnä tarvittavat toimenpiteet sekä tehtävät laskutoimitukset ja niiden perusteet. Lisäksi esitetään mittauksia rajoittavat tekijät ja mittaustarkkuus verrattuna porapalamittauksiin. Arvonmuutosperusteiden yhteydessä on pohdittu ja esitetty hajontatekijöiden vaikutuksia tuloksiin.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus toteutettiin laajana vertailevien kenttäkokeiden sarjana. Mittauksia tehtiin päällystetutkalla, DOR-menetelmällä sekä otettiin poranäytteitä. DOR-menetelmällä ja porapalojen avulla kohteiden tiiviysmääritykset tehtiin menetelmäohjeiden mukaisesti.

Poranäytteiden ottamisen ohjeet on esitetty julkaisussa "Asfalttinormit 1995" (PANK 1995). Poranäytteitä otettiin yksi ajoratasarja 1,5 kilometriä kohden. Poranäytteet tutkittiin laboratorioissa Rovaniemellä ja Helsingissä poranäytteiden tutkimisesta annettujen ohjeiden mukaisesti (PANK 1998).

DOR-menetelmän kuvaus on esitetty myös PANK:n ohjeissa (PANK 1998). DOR-menetelmällä mitataan useita 500 metrin linjoja kohteesta eri pyörän urista. Kuitenkaan yli kahden kilometrin kohteista ei mitata koko kohteen pituuden matkalta, vaan satunnaisia 500 metrin linjoja. Tulokset tallennetaan yhden metrin välein. Tuloksista lasketaan tyhjätilan keskiarvot ja keskihajonnat sekä viiden metrin keskiarvoista ylitys- ja alitusprosentit. DOR-menetelmällä ylitys- ja alitusprosentit lasketaan painotettuina ylityksen tai alituksen suuruudella (Tielaitos 1998).

Tutkan menetelmäohjeena käytettiin julkaisussa "Päällystetutkatutkimukset 1996-1997" (Roimela 1998) esitettyä ohjetta. Päällystetutkalla mitattiin kohteista molempien kaistojen ulkourat. Kaksi ajorataisilla teillä kohteesta mitattiin kaikki ajokaistat eli yhteensä neljä mittalinjaa. Mittauksissa tallennettiin 2 tai 4 mittausta metrille. Mittausnopeutena päällystetutkalla oli noin 50 km/h. Eri mittalinjojen tuloksista laskettiin koko kohteen keskiarvo ja keskihajonta. Esitetystä menetelmäohjeesta poiketen ylitys- ja alitusprosentit tutkamittauk-

sisä laskettiin suoraan ylittävien tai alittavien metrien ja kokonaismittauspituuden suhteesta eikä painotettuina, kuten menetelmäohjeen mukaisesti laskettaessa tehtäisiin.

Poranäytepaikat päällystetutkatulosten kalibrointia varten määritettiin alustavan dielektrisyyksien laskennan jälkeen. Poranäytepaikoiksi valittiin pisteet, joiden dielektrisyyks vastasi koko kohteen keskimääräistä dielektrisyyttä. Pisteitä valittiin 2 jokaisesta kohteesta. Pisteestä porattiin varsinainen näyte ja sille rinnakkaisnäyte. Porapaloille laboratoriossa määritettyjen tyhjätilojen ja mittauksissa saatujen dielektrisyyksien sekä laboratoriossa määritetyn funktion (Roimela 1998) avulla laskettiin kohteen korjauskerroin tyhjätilojen laskentaa varten.

Raja-arvojen oikeellisuuden selvittämiseksi käsiteltiin vuosien 1996-1997 päällystetutkatutkimusten aineistoa, jotta saataisiin selville hajontatekijöiden vaikutusta tuloksiin ja tulosten luottamusvälejä. Laskelmat on tehnyt Seppo Järvinen Inframan Oy:stä.

3 MITTAUKSET

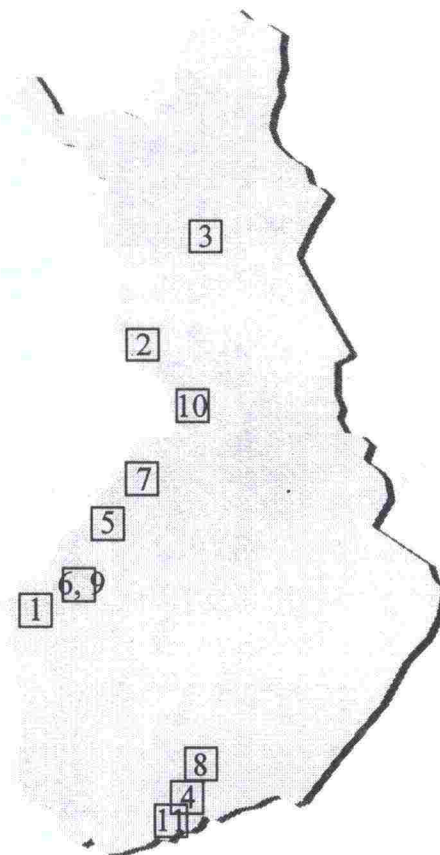
3.1 Mittauskohteet

Kohteet sijaitsivat Lapin, Oulun, Uudenmaan ja Vaasan tiepiirien alueilla. Jokaisessa piirissä tutkimuskohteita oli noin 25 – 30 kilometriä. Kohteiden mittaukset tehtiin kesän –98 aikana siten, että ensimmäiset kohteet valmistuivat kesäkuun puoleenväliin mennessä ja viimeiset lokakuun alussa. Mittausajankohdat olivat luonnollisesti sidoksissa kohteiden valmistumisen kanssa. Kohteiden tyhjätilamittaukset tehtiin kuukauden kuluessa kohteen valmistumisesta.

Mittauskohteet pyrittiin valitsemaan siten, että niissä oli järkevää ja mahdollista tehdä mittaukset kaikilla kolmella menetelmällä. Tällöin esimerkiksi kilometrin pituiset kohteet eivät olleet mahdollisia. Tutkimuksessa mitatut kohteet (kuva 1) olivat seuraavat:

1. Vt 3 Vaasan moottoritie
 - Pituus noin 9 kilometriä, kaksi ajorataa
 - Massa SMA 18/100, jysintä
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 2-6 prosenttia
2. Vt 4 Kemin moottoriliikennetie
 - Pituus noin 6,3 kilometriä
 - Massa SMA 18/100 kuonamurskeesta, tasausjysintä
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 2-6,5 prosenttia
3. Vt 4 Vuojärvi - Torvinen
 - Pituus noin 15,8 kilometriä
 - Massa AB 16/100, alla osittain vanha päällyste, osittain TASK, verkkoja routavauriokohdissa kantavaan kerrokseen laitettuna
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia
4. Vt 25 Hyvinkää - Keravanjärvi
 - Pituus noin 14,9 kilometriä
 - Massa AB 18/18 REM
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia
5. Vt 27 Kalajoen kunnanraja - Kähtävä
 - Pituus noin 13,9 kilometriä
 - Massa AB 18/80 ART
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia
6. Kt 63 Kauhava - Vuorenmaa
 - Pituus noin 7,6 kilometriä
 - Massa AB 18/120 uusi laatta
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia
7. Kt 88 Saloinen - Kopsa
 - Pituus noin 9,2 kilometriä
 - Massa AB 18/110 uusi laatta
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia

8. Mt 140 Kaukalampi - Levanto
 - Pituus noin 4,0 kilometriä
 - Massa AB 18/18 REM
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia
9. Mt 733 Kauhava - Pelkola
 - Pituus noin 4,3 kilometriä
 - Massa AB 18/100 uusi laatta
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia
10. Mt 849 Puurukoski - Kylmäoja
 - Pituus noin 6,0 kilometriä
 - Massa AB 18/100 emulsio, osaksi recycling, uusi laatta
 - Emulsiomenetelmän koekohde
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 1-5 prosenttia
11. Mt 1324 Lahnus – Klaukkala
 - Pituus noin 7,7 kilometriä
 - Massa SMA 12
 - Tyhjätilan vaatimusrajat 2-6 prosenttia



Kuva 1. Mittauskohteiden sijainnit

3.2 Mittausten toteutus

Jokaisella menetelmällä mittaukset tehtiin niille laadittujen ohjeiden mukaisesti. Päällystetutkalle sovellettiin julkaisussa "Päällystetutkatutkimukset 1996-1997" (Roimela 1998) esitettyä menetelmäkuvausta. Poranäytteiden ottoon ja DOR-mittausten tekemiseen ohjeet löytyvät PANK:n menetelmäkansiosta (PANK 1998).

PÄÄLLYSTETUTKA:

Päällystetutkalla mitattiin kohteet alusta loppuun. Jokaisesta kohteesta mitattiin molempien kaistojen ulkourien kohdat eli käytännössä mittaussmäärä oli kaksi kertaa kohteen pituus. Mitattaessa neljä näytettä metrille näytemäärä päällystetutkalla on 4000 kappaletta kilometrille. Vaasan moottoritie oli pääosin kaksi ajoratainen, joten siellä mitattiin molempien ajoratojen molemmat kaistat eli kohteesta mitattiin yhteensä neljä mittalinjaa. Mt 849:ltä Puurukoski – Kylmäojalta mitattiin lisäksi ensimmäiseltä 700 metriltä yhteensä kahdeksan mittalinjaa eli neljä linjaa kaistalta. Näin voitiin vertailla tiiviyden vaihteluita poikkileikkauksessa. Kuvassa 2 mittaukset käynnissä Mt 849:llä.



Kuva 2. Päällystetutkamittaukset käynnissä Mt 849:llä.

Päällystetutkan kalibrointia varten kohteista otettiin kahdesta pisteestä poranäytteet. Näytteet otettiin samasta linjasta päällystetutkamittausten kanssa. Kuvassa 3 on näytteenottokäynnissä tutka-autoon kiinnitetyllä päällysteporalla.



Kuva 3. Poranäytteen ottoa tutka-autoon kiinnitetyllä päällysteporalla.

PORANÄYTTEET:

Poranäytteitä otettiin kohteista keskimäärin 1,5 kilometrin välein. Näytteet otettiin normaaleina ajoratasarjoina eli siihen kuului viisi näytettä, joista saumanäytettä ei ole tulosten käsittelyssä otettu mukaan. Kaistoilta näytteet otettiin ajourien kohdilta. Ajoratasarja- ja näytemäärät kohteittain ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Ajoratasarjojen ja näytteiden lukumäärät kohteittain.

Kohde	Ajoratasarjoja	Näytteitä
Vt 3 Vaasan moottoritie	12	48
Vt 4 Kemin moottoriliikennetie	4	16
Vt 4 Vuojärvi – Torvinen	10	40
Vt 25 Hyvinkää – Keravanjärvi	10	40
Vt 27 Kalajoen kr – Kähtävä	9	36
Kt 63 Kauhava – Vuorenmaa	5	20
Kt 88 Saloinen – Kopsa	6	24
Mt 140 Kaukalampi – Levanto	3	12
Mt 733 Kauhava – Pelkola	4	16
Mt 849 Puurukoski – Kylmäoja	3	12
Mt 1324 Lahnus – Klaukkala	5	20

Vt 4:llä Vuojärvi – Torvinen kohteessa yhden sarjan tutkiminen epäonnistui, joten tulosten käsittelyssä oli yhdeksän sarjaa ja 36 näytettä. Vt 25:llä kahden ja Mt 140:lla yhden näytteet tyhjättila-arvot olivat selvästi virheelliset ja ne poistettiin tuloksista. Vt 25:llä tulosten käsittelyssä oli 38 näytettä ja Mt 140:lla käsittelyssä oli 11 näytettä. Mt 849:llä poranäytteiden otossa oli ongelmia, koska kappaleet olivat heikkoja ja osa hajosi. Kuitenkin saatiin kolme sarjaa näytteitä, joiden tuloksia voitiin hyödyntää.

DOR-MENETELMÄ:

DOR-menetelmän tulokset saatiin kohteiden virallisen laadunvalvonnan kautta. Mt 733:lta ja Mt 849:ltä ei DOR-mittauksia tehty. Muista kohteista käytettävänä olivat kaikkien kolmen menetelmän mukaiset tulokset.

Kohteista DOR-menetelmällä mitattiin 500 metrin pituisia jaksoja eri ajourista. Taulukossa 2 on kohteittain DOR-mittausten linjojen lukumäärä ja niiden yhteispituudet kohteittain. Yhteispituus on myös kohteesta mitattujen näytteiden määrä.

Taulukko 2. DOR-mittausten linjojen lukumäärä ja yhteispituudet kohteittain.

Kohde	Linjoja	Yhteispituus (m)
Vt 3 Vaasan moottoritie	10	5000
Vt 4 Kemin moottoriliikennetie	4	2000
Vt 4 Vuojärvi – Torvinen	11	5500
Vt 25 Hyvinkää – Keravanjärvi	10	5000
Vt 27 Kalajoen kr – Kähtävä	9	4500
Kt 63 Kauhava – Vuorenmaa	4	2000
Kt 88 Saloinen – Kopsa	6	3000
Mt 140 Kaukalampi – Levanto	6	3000
Mt 733 Kauhava – Pelkola	-	-
Mt 849 Puurukoski – Kylmäoja	-	-
Mt 1324 Lahnus - Klaukkala	10	5000

4 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

4.1 Yleistä

Tutkimuksen tavoitteena oli varmistaa menetelmän toimivuus vertailumittauksin. Lähtökohtana oli aikaisempien vuosien tutkimukset, joissa oli menetelmän toimivuus todettu yksittäisten pisteiden vertailulla. Tässä tutkimuksessa vertailu tehtiin kohteen keskiarvon, keskihajonnan sekä ylitys- ja alitusprosenttien suhteen. Näin siksi, että nähtäisiin onko menetelmien välillä eroja tulosten suhteen, joilla on merkitystä arvonmuutoksista päätettäessä. Analysointi suoritettiin tästä lähtökohdasta.

4.2 Mittaustulokset

Jokaisella menetelmällä mitattujen tulosten pohjalta laskettiin kohteille tyhjätilojen keskiarvo, keskihajonta sekä ylitys- ja alitusprosentit. Nämä ovat teki-
jötä, jotka vaikuttavat arvonmuutoksiin. Taulukossa 3 on esitetty kohteittain niiden keskiarvot ja keskihajonnat sekä taulukossa 4 minimi- ja maksimiarvot eri menetelmillä. Päällystetutkatulosten minimi- ja maksimit ovat viiden metrin keskiarvoista ja DOR-tulosten minimi- ja maksimit 20 metrin keskiarvoista.

Taulukko 3. Kohteiden keskiarvot ja keskihajonnat eri menetelmillä.

Kohde / Massa	Tutka		Poranäytteet		DOR	
	ka	Khaj	ka	Khaj	Ka	khaj
Vt 3 Vaasan, SMA 18	3,2	0,5	3,6	1,3	3,0	2,7
Vt 4 Kemi, SMA 18 kuona	4,7	1,0	5,4	0,8	3,9	2,7
Vt 4 Vuojärvi, AB 16	3,5	0,3	3,5	0,9	2,5	2,6
Vt 25 Hyvinkää, AB 18	3,1	0,4	2,8	0,9	2,2	2,2
Vt 27 Kalajoki, AB 18	1,9	0,2	3,3	1,1	2,2	2,3
Kt 63 Kauhava, AB 18	3,1	0,5	3,2	1,2	2,9	2,3
Kt 88 Saloinen, AB 18	4,6	0,7	4,3	1,3	3,4	2,5
Mt 140 Kaukalampi, AB 18	2,5	0,3	3,2	1,2	2,1	2,5
Mt 733 Kauhava, AB 18	2,6	0,4	4,4	1,0	-	-
Mt 849 Puuruk., AB 18 emulsio	7,4	1,6	6,4	1,2	-	-
Mt 1324 Lahnus, SMA 12	4,8	0,7	5,2	1,2	3,7	2,7

Taulukko 4. Kohteiden tyhjätilojen minimi- ja maksimiarvot eri menetelmillä.

Kohde / Massa	Tutka		Poranäytteet		DOR	
	min	maks	min	maks	Min	maks
Vt 3 Vaasan, SMA 18	1,0	7,0	0,5	5,7	-0,7	7,7
Vt 4 Kemi, SMA 18 kuona	2,9	10,2	4,0	6,8	1,0	12,7
Vt 4 Vuojärvi, AB 16	1,6	4,9	2,0	6,0	0,0	7,8
Vt 25 Hyvinkää, AB 18	2,1	4,1	0,9	5,5	-0,2	4,5
Vt 27 Kalajoki, AB 18	0,7	2,6	0,9	5,5	-0,8	6,5
Kt 63 Kauhava, AB 18	2,1	5,7	1,5	6,6	0,6	6,1
Kt 88 Saloinen, AB 18	2,6	7,7	1,8	6,6	0,2	7,0
Mt 140 Kaukalampi, AB 18	1,1	3,5	1,5	5,4	-0,6	5,4
Mt 733 Kauhava, AB 18	1,6	4,9	2,9	5,9	-	-
Mt 849 Puuruk., AB 18 emulsio	3,4	14,6	4,9	8,5	-	-
Mt 1324 Lahnus, SMA 12	2,5	9,8	3,2	7,3	0,2	8,8

Liitteissä 1-3 on esitetty kolmesta kohteesta päällystetutkamittausten mukaiset tyhjättila-arvot GIS-kartoilla erikseen jokaiselle mittausuralle. Liitteessä 4 on tasokuva tyhjättiloista Mt 849:llä ensimmäiseltä 700 metriltä. Kuva on muodostettu 8 eri mittalinjan tuloksista.

Ylitys- ja alitusprosenttien laskenta poikkeaa eri menetelmillä toisistaan. Päällystetutkalla laskenta perustuu mitattuihin metrimääriin eli ylittävien tai alittavien metrin suhteeseen kokonaismittauspituuteen. Esimerkiksi, jos kohde on 1000 metriä ja ylityksiä on 20 metriä, niin ylitysprosentti on 2 prosenttia. Porapaloille ylitys- ja alitusprosentit lasketetaan tilastomatematisesti Päällystenormeissa (PANK 1995) esitetyllä tavalla. Ylitys- ja alitusprosentteihin vaikuttavat sekä keskiarvo että keskihajonta. DOR-menetelmällä ylitys- ja alitusprosentit lasketetaan julkaisussa "DOR-menetelmän käyttö asfalttipäällysteiden tiiviyn määrittämisessä" (Aurinko 1994). Tämän tutkimuksen tulokset on saatu kohteiden arvonmuutoslaskelmista. Taulukossa 5 on esitetty vastaavalla tavalla ylitys- ja alitusprosentit kohteista. Kohteissa Vt 3 Vaasa, Vt 25 Hyvinkää, Mt 140 Kaukalampi sekä Mt 1324 Lahnus DOR-tulosten alarajana on ollut laskelmissa nolla prosenttia.

Taulukko 5. Kohteiden ylitys- ja alitusprosentit eri menetelmillä.

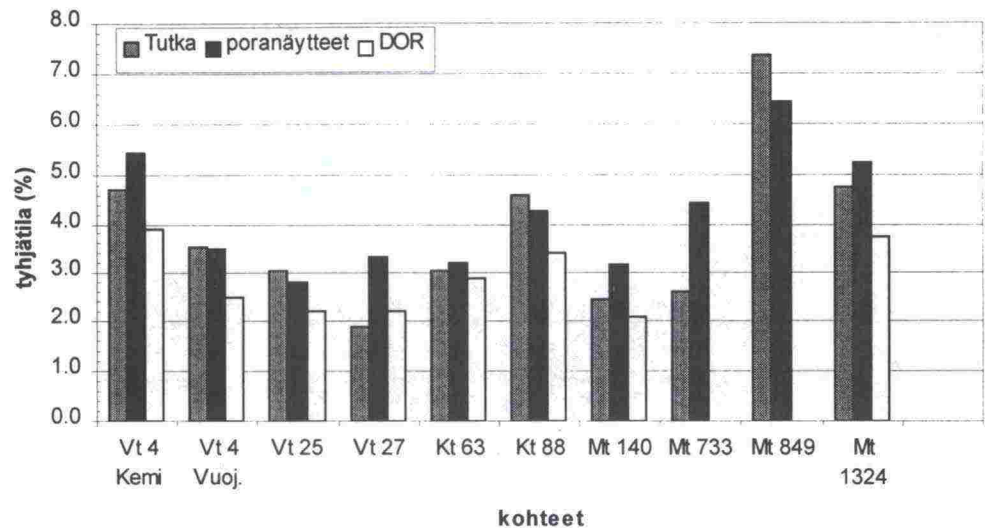
Kohde / Massa	Tutka		poranäytteet		DOR	
	Ylitys %	Alitus %	Ylitys %	Alitus %	Ylitys %	Alitus %
Vt 3 Vaasan, SMA 18	0	1,9	2,9	11,1	0,2	0
Vt 4 Kemi, SMA 18 kuona	4,6	0	7,7	0	0,6	1,3
Vt 4 Vuojärvi, AB 16	0	0	4,8	0,3	0,3	1,9
Vt 25 Hyvinkää, AB 18	0	0	0,9	2,7	0,1	0
Vt 27 Kalajoki, AB 18	0	0,1	6,7	1,8	0,1	0
Kt 63 Kauhava, AB 18	0,4	0	7,4	3,2	0,2	1,4
Kt 88 Saloinen, AB 18	21,9	0	28,9	0,6	0,6	1,0
Mt 140 Kaukalampi, AB 18	0	0	6,0	3,3	0,2	0
Mt 733 Kauhava, AB 18	0	0	28,4	0	-	-
Mt 849 Puuruk., AB 18 emulsio	95,9	0	88,7	0	-	-
Mt 1324 Lahnus, SMA 12	3,6	0	25,9	0,4	0,4	0

4.3 Tulosten analysointi

4.3.1 Yleistä

Tulosten analysoinnin lähtökohtana on ollut vertailla päällystetutkalla mitattuja tuloksia muiden menetelmien tuloksiin. Lisäksi on tehty vertailuja porapalojen ja DOR-menetelmän keskinäisestä suhteesta. Analysoinnissa käydään läpi sekä keskiarvoja ja keskihajontoja että ylitys- ja alitusprosentteja. Lisäksi pohditaan mahdollisten eroavaisuuksien syitä ja parantamismahdollisuuksia.

4.3.2 Keskiarvot ja -hajonnat

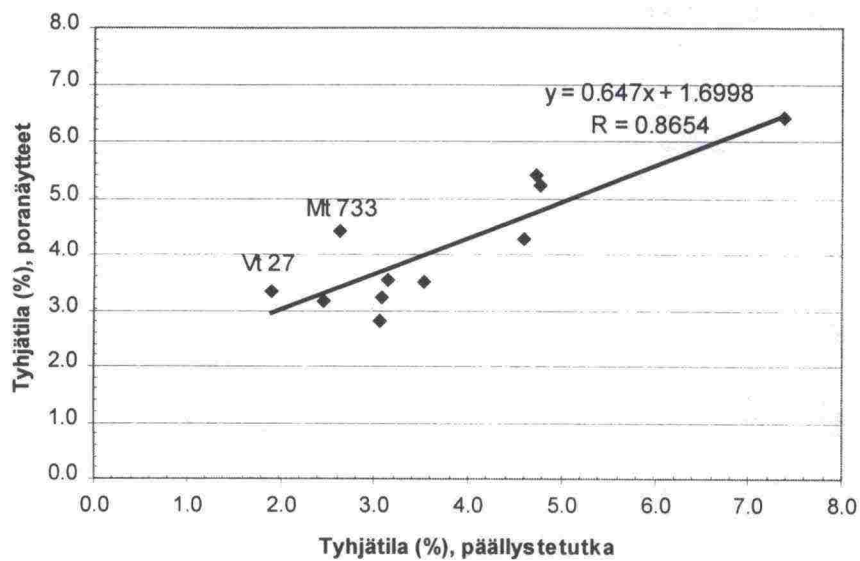


Kuva4. keskiarvot kohteittain eri menetelmillä mitattuna.

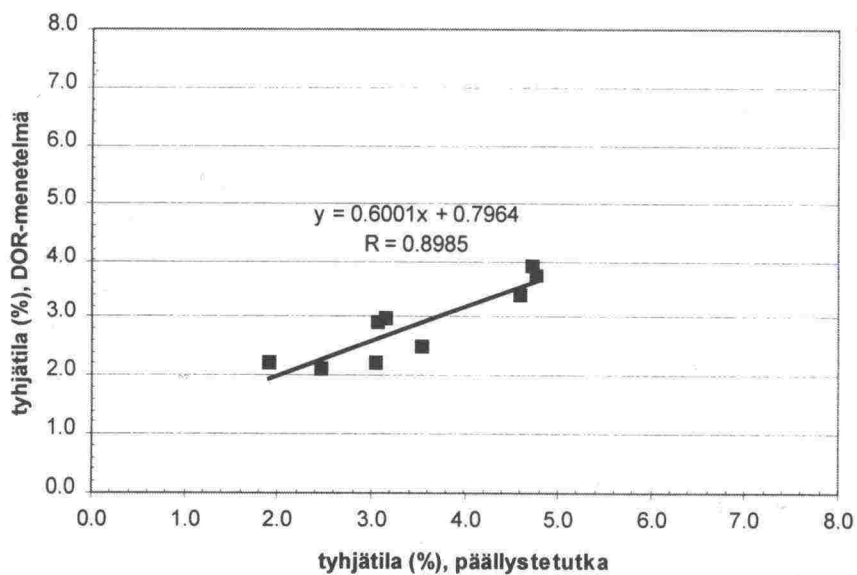
Kuvassa 4 on esitetty tulokset pylväsdiagrammeina. Tuloksista nähdään, että DOR-menetelmällä saatu tässä tutkimuksessa alhaisimmat keskiarvot. Vain Vt 27:n tuloksissa päällystetutkatulosten keskiarvo on alhaisin. Päällystetutkan keskiarvon ero DOR-tulokseen ei kuitenkaan ole suuri. Suurimmassa osassa kohteissa DOR-tulosten alhaisuuteen on syynä DOR-tulosten laskennassa käytetty massan tiheyden arvo, joka lähes kaikissa kohteissa oli pienempi kuin porapalatutkimuksissa määritetty massan tiheyden arvo. Poikkeuksen tästä muodostavat Helsingin kohteet, joissa massan tiheydet vastasivat toisiaan ja näin eivät selitä keskiarvojen erilaisuutta.

Poranäytteiden ja päällystetutkatulosten välillä on selvä ero keskiarvoissa Vt 27:llä sekä Mt 733:lla, joissa ero on yli yhden prosenttiyksikön. Näissä kohteissa ilmeisesti molempien päällystetutkaa varten otettujen poranäytteiden tyhjättilä-arvot ovat olleet keskivirheen alarajoilla. Tämän vuoksi myös päällystetutkan tulokset jäävät alhaisiksi.

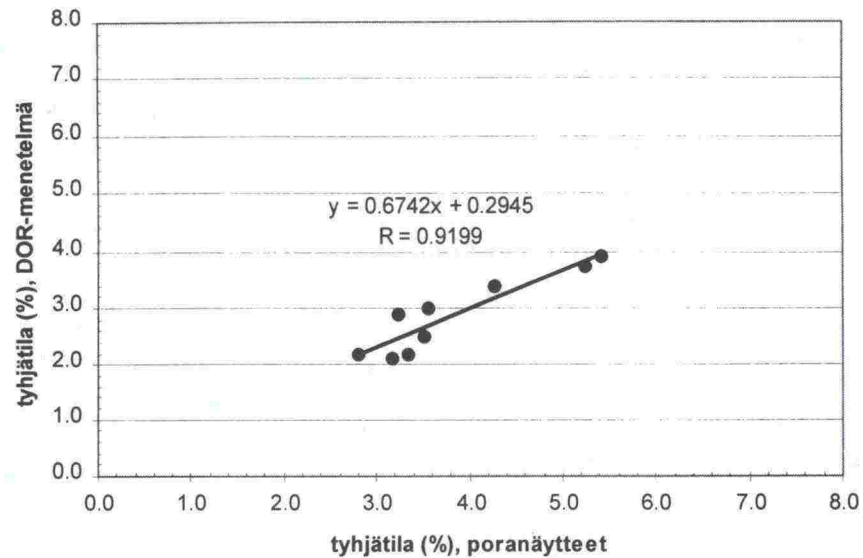
Keskiarvoja on analysoitu kovarianssin ja korrelaation avulla. Kovarianssi ei ota huomioon eri tulosten arvojen vaihtelua, kun taas korrelaatio huomioi vaihtelun. Kuvassa 5 on esitetty päällystetutkatulosten ja poranäytetulosten välinen riippuvuus ja korrelaatio. Kuvassa 6 on puolestaan päällystetutkatulosten ja DOR-tulosten välinen riippuvuus ja korrelaatio. Kuvassa 7 on lisäksi poranäytetulosten ja DOR-tulosten välinen riippuvuus ja korrelaatio.



Kuva 5. Päällystetutkatulosten ja poranäytetulosten välinen riippuvuus ja korrelaatio.



Kuva 6. Päällystetutkatulosten ja DOR-tulosten välinen riippuvuus ja korrelaatio.



Kuva 7. Poranäytetulosten ja DOR-tulosten välinen riippuvuus ja korrelaatio.

Tuloksista nähdään, että korrelaatiot ovat vahvoja kaikkien menetelmien välillä. Korrelaatioiden perusteella voidaan todeta, että menetelmien tulosten välillä on selvä lineaarinen yhteys toisiinsa.

Riippuvuudet ovat menetelmien kesken samansuuntaiset. Verrattaessa päällystetutkatuloksia poranäyte- ja DOR-tuloksiin ovat kulmakertoimet lähellä toisiaan, vain vakion arvo muuttuu selvästi. Samoin verrattaessa poranäyte- ja DOR-tulosten riippuvuutta kulmakerroin on lähes sama kuin päällystetutkatulosten kanssa, vain vakion arvo on selvästi erisuuruinen. Riippuvuuksien perusteella voidaan todeta, että vaikka korrelaatiot menetelmien välillä ovat vahvoja, niin eri menetelmät antavat kohteista hieman eritasoisia tuloksia. DOR-menetelmällä saadaan pienempiä arvoja. Poranäytteillä saadaan suurimmat arvot 4,8 prosenttiyksikköön asti, jota suuremmilla tyhjätila-arvoilla päällystetutka antaa suurimmat arvot. Jos aineistosta poistetaan suurimman arvon lisäksi Mt 27 ja Mt 733 tulokset, joissa todettiin selvä ero poranäyte- ja päällystetutkatulosten välillä, niin riippuvuus paranee selvästi. Tällöin regressiosuoran kulmakerroin on lähellä ykköstä. Myös korrelaatio on tällöin parempi kuin koko aineistoa tarkasteltaessa.

Kovarianssi päällystetutkan ja poranäytteiden välillä on 1,3788, päällystetutkan ja DOR-menetelmän välillä 0,5590 ja poranäytteiden sekä DOR-menetelmän välillä 0,5217. Koska kovarianssi ei huomioi arvopisteiden suuruusluokkia, voidaan kovarianssien perusteella myös päätellä tulosten vastaavuutta. Kovarianssien perusteella voidaan myös todeta, että DOR-tulokset poikkeavat tasoltaan päällystetutka- ja poranäytetuloksista. Kuten jo todettiin, niin selvä lineaarinen yhteys tulosten välillä kuitenkin on korrelaatioiden perusteella.

Taulukossa 3 esitettyjen keskihajontojen perusteella nähdään, että DOR-tulokset poikkeavat keskihajonnan osalta muista menetelmistä. DOR-menetelmän keskihajonnat ovat 2,2-2,7 prosenttiyksikön välissä, kun päällyste-

tutkalla keskihajonnat ovat 0,2 ja 1,6 prosenttiyksikön välillä sekä poranäytteillä 0,8 ja 1,3 prosenttiyksikön välillä.

Korrelaatio DOR-tulosten keskihajonnan ja päällystetutkatulosten keskihajonnan välillä on keskinkertainen eli $R = 0,5397$. Tämä osoittaa, että keskihajonta DOR-tulosten ja päällystetutkatulosten välillä on lineaarinen. Tulokset ovat näillä menetelmillä samansuuntaiset, tasoero on vain selvä.

Sen sijaan päällystetutka- ja poranäytteiden keskihajonnoilla ei ole korrelaatiota. Myöskään DOR- ja poranäytetulosten keskihajontojen välillä ei ole korrelaatiota. Poranäytteiden keskihajonnat ovat kohteesta riippumatta hyvin samansuuruisia. Näin korrelaatiota tulosten välille ei synny. Tämä oli odotettavissa, sillä porapalojen keskihajonta lasketaan kymmenistä näytteistä, kun taas päällystetutkan ja DOR-tulosten keskihajonta lasketaan tuhansista näytteistä.

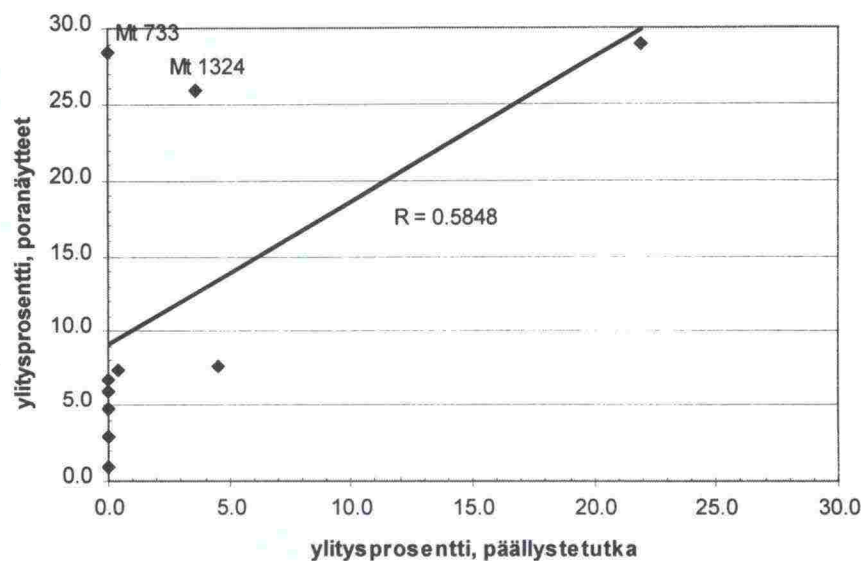
4.3.3 Ylitys- ja alitusprosentit

Ylityksiä sallitaan normeissa sekä poranäytteille että DOR-menetelmän mukaisille tuloksille viisi prosenttia ennen kuin arvonmuutoksia syntyy. Samaa rajaa käytetään päällystetutkalle tämän tutkimuksen vertailuissa. Näin saadaan kuva menetelmän mahdollisista eroavaisuuksista.

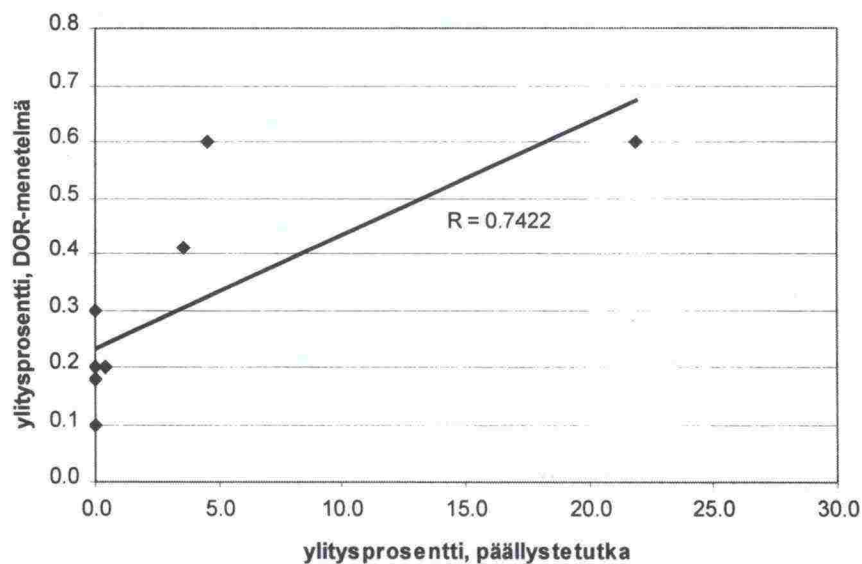
Päällystetutkan ylitysprosentit vaihtelivat nolasta aina 95,9 prosenttiin. Poranäytteillä vastaava vaihteluväli oli 0,9 prosentista 88,7 prosenttiin. Suurimmat ylitysprosentit molemmilla menetelmillä oli samalla kohteella Mt 849:llä, joka olikin emulsiomenetelmän toimivuuden koekohde. Ilmeisesti päällystysmenetelmä ei ole vielä täysin kehittynyt vaadittavalle tasolle, mutta kehitystyö on siis käynnissä. DOR-mittauksia ei kyseisellä kohteella tehty. DOR-menetelmän ylitysprosentit olivat alhaiset vaihdellen 0,1 prosentista 0,7 prosenttiin. Eli DOR-menetelmällä ei ylityksiä kohteissa esiinny.

Päällystetutkalla arvonmuutoksia olisi tullut kahdella kohteella eli Kt 88:lla sekä Mt 849:llä, josta jo todettiin, että kysymyksessä oli päällystysmenetelmän koekohde. Menetelmä vaatii siis vielä kehitystyötä. Kt 88:lla ylitysprosentti oli päällystetutkalla 21,9 prosenttia eli selvästi yli sallitun. Massa oli normaalia AB massaa. Samassa kohteessa poranäytteiden ylitysprosentti oli 28,9 prosenttia eli vielä suurempi kuin päällystetutkalla. Poranäytetuloksien mukaan arvonmuutoksia ylityksen osalta olisi tullut peräti kahdeksassa kohteessa. Vain kolmessa kohteessa ylitysprosentti oli sallituissa rajoissa.

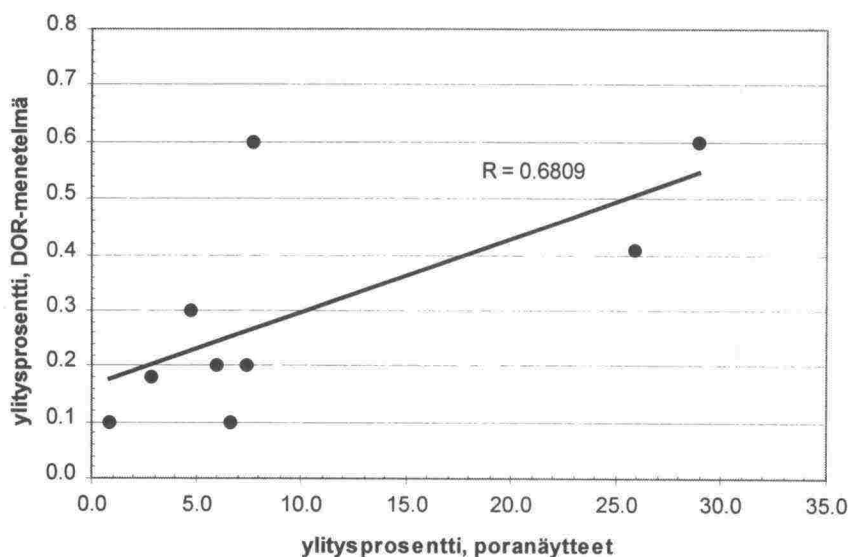
Vt 3:n tuloksissa näkyy hyvin tilastomatemattisen laskennan vaikutus. Vt 3:lla poranäytteiden perusteella ylitysprosentti oli 2,9, vaikka maksimiarvo porapaloissa oli 5,7 prosenttia eli alle vaatimusrajan. Kuitenkin näytteitä oli 48 kappaletta.



Kuva 8. Ylitysprosenttien välinen korrelaatio päällystetutkan ja poranäytteiden tulosten välillä.



Kuva 9. Ylitysprosenttien välinen korrelaatio päällystetutkan ja DOR-menetelmän tulosten välillä. Huomattava y-akselin mittakaavaero kuvaan 8.



Kuva 10. Ylitysprosenttien välinen korrelaatio poranäytteiden ja DOR-menetelmän tulosten välillä. Huomattava mittakaavaero kuvaan 8.

Kuvissa 8-10 on tarkasteltu eri menetelmien välisten ylitysprosenttien korrelaatiota. Tarkastelusta on jätetty pois MT 849:n ylitysprosentit, koska niillä olisi liian suuri määräävä vaikutus korrelaatioihin. Korrelaatiot kaikkien menetelmien välillä ovat keskinäisiä. DOR-tulokset poikkeavat absoluutisilta arvoiltaan selvästi muiden menetelmien tuloksista. Kuitenkin selvä korrelaatio on näkyvissä eri menetelmien välillä.

Vertailtaessa päällystetutkan ja poranäytteiden ylitysprosentteja selvästi aineistosta poikkeavia ovat Mt 733:n ja Mt 1324:n tulokset. Kohteiden yksittäisissä poranäytteissä esiintyy myös ylitysprosentin verran ylityksiä, joten ero päällystetutkatuloksiin ei selity erilaisilla laskentatavoilla.

Ylitysprosentteissa oli eroja eri menetelmien välillä. Suurin ero oli poranäytteiden ja DOR-menetelmän välillä, päällystetutkan tulokset asettuivat näiden väliin. Erojen syyt ovat moninaiset. Osa eroista syntyy inhimillisistä tekijöistä, osa laskentatavoista ja osa kalibrointien tarkkuuksista. Päällystetutkalla ja DOR-menetelmällä laskennat perustuvat suurempiin näytemääriin, jolloin tuloksen tarkkuus paranee. Näiden menetelmien parempaa tarkkuutta, kunhan kalibrointi on tehty oikein. Päällystetutkalla ja DOR-menetelmällä kalibrointiin siis tulee kiinnittää erityistä huomiota päällystetutkalla tai DOR-laitteistolla laadunvalvontaa tehtäessä.

Päällystetutkalla alitusprosentit olivat nolla prosenttia tai lähellä nollaa. Vain kahdessa kohteessa oli alitusta, niissäkin suurimmillaan vain 1,9 prosenttia. DOR-menetelmän alitusprosentit olivat samansuuntaiset, suurimmillaan alitusprosentti oli 1,9. Porapaloissa alitusprosentteissa oli enemmän vaihtelua. Yhdessä kohteessa eli VT 3:lla alituksen perusteella olisi tullut arvomuutosta alitusprosentin ollessa 11,1. Alituksen perusteella erot eivät eri menetelmien välillä kuitenkaan olleet niin merkittäviä kuin ylityksen osalta.

4.3.4 GIS-karttojen analysointi

Liitteissä 1-3 on esitetty esimerkkinä muutamasta kohteesta päällystetutkatuloksista GIS-kartat mitatuille linjoille. Kuvista nähdään nopeasti paikat, joissa mahdollisesti on ollut ongelmia. Kuvien analysoinnissa on muutamia periaatteita, jotka helpottavat analysointia ja selkeyttävät mahdollisten ongelmien syitä.

Jos ylitysten kanssa on ongelmia koko tien poikkileikkauksen leveydeltä, niin voidaan olettaa, että ainakin osa tiivistämisen ongelmista johtuu pohjamaasta. Näin on esimerkiksi liitteessä 1 Vt 4:llä Kemin moottoriliikennetiellä Kalkkinokan kohdalla noin 700-800 metriä kohteen alusta. Ylityksiä esiintyy molemmilla kaistoilla.

Sen sijaan, jos ylityksiä tai alituksia esiintyy vain toisella kaistalla, niin tällöin syynä voi olla ero tiivistystyössä tai mahdollisesti myös massan erilainen koostumus esimerkiksi lajittumisen seurauksena. Tällaisia paikkoja on mm. liitteessä 2 Kt 63:lla Pukkilan kohdalla noin 700 metriä kohteen alusta. Vasen kaista on kunnossa, mutta oikealla kaistalla on ylityksiä muutamassa kohdassa. Vastaavasti liitteessä 3 Mt 1324:lla on alituksia vasemmalla kaistalla Lahnuksen pohjoispuolella.

Liitteessä 4 on tasokuva Mt 849:ltä emulsiokoekohteesta. Kuva on muodostettu kahdeksan eri mittalinjan tuloksista. Laitimmaisat mittaukset ovat noin 20 senttimetriä päällysteen reunasta. Piirto-ohjelma iteroi mittaus-ten väliset arvot. Kuvan perusteella voidaan analysoida tyhjätilan vaihtelua poikkileikkauksessa.

Kuvasta nähdään, että reunoissa tyhjätilat ovat suuria varsinkin reunoissa. Tähän voi olla syynä esimerkiksi kantavuuden puute reunoissa. Toinen mahdollinen syy voi olla tiivistyslinjojen vähyys reunoissa verrattuna kaistan keskikohtaan. Loppupäässä oikealla kaistalla on selvästi kohonneet tyhjätilan arvot. Kyseessä saattaa olla ongelmat massassa eli esimerkiksi massan lajittuminen. Lisäksi kohdalla on jyrkkä mäki, joka saattaa vaikeuttaa tiivistystä.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Päällystetutkatutkimukset aloitettiin vuonna 1996 Lapin tiepiirin aloitteesta. Vuosina 1996-1997 tehtiin menetelmän toimivuuden selvittämiseksi lukuisia laboratorio- ja kenttätutkimuksia. Kenttätutkimuksissa keskityttiin yksittäisten mittaustulosten vertailuun. Vertailu suoritettiin lähinnä poranäytteisiin. Nämä tulokset osittivat menetelmän toimivuuden.

Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli varmistaa menetelmän toimivuus käytännön mittauksissa. Vertailuksi mitattiin samoista kohteista menetelmäohjeiden mukaisesti sekä porapala- että DOR-mittaukset. Erityisesti haluttiin selvittää eri mittausten menetelmien tuloksissa mahdollisesti olevia eroja ja sitä, että poikkeako päällystetutkan tulokset muiden menetelmien tuloksista siinä määrin, että menetelmää ei voitaisi käyttää yhtenä päällysteen laadunvalvontamenetelmänä.

Mittauksia tehtiin kesän -98 aikana neljän tiepiirin alueella: Lapin, Oulun, Uudenmaan sekä Vaasan tiepiireissä. Jokaisessa tiepiirissä kohteita oli noin 25-30 kilometriä. Kohteet mitattiin kaikilla kolmella menetelmällä kohteita Mt 733 ja Mt 849 lukuunottamatta, joissa DOR-mittauksia ei tehty. Mittaukset tehtiin menetelmäohjeiden mukaisesti. Päällystetutkalla mitattiin molemmilta kaistoilta yksi mittalinja läpi koko kohteen. Näytemäärät menetelmillä ovat erilaisia. Poranäytteitä kohteesta on kymmeniä, kun taas DOR-menetelmällä näytteitä on tuhansia ja päällystetutkalla kymmeniätuhansia kappaleita.

Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että DOR-menetelmällä saadaan alhaisimmat tyhjätila-arvot. Vain Vt 27:llä kohteen keskiarvo oli pienin päällystetutkalla mitattuna. Muilla kohteilla DOR-menetelmällä saatiin pienin keskiarvo. Päällystetutkan ja poranäytteiden keskiarvot eri kohteissa olivat pääsääntöisesti lähellä toisiaan.

DOR-tuloksissa keskihajonta on selvästi suurempi kuin muilla menetelmillä. Kuitenkin keskinkertainen korrelaatio on DOR-tulosten ja päällystetutkatulosten keskihajontojen välillä. Sen sijaan poranäytetulosten keskihajonnat eivät korreloi muiden menetelmien kanssa. Tämä oli odotettavissa, koska poranäytteiden näytemäärä on merkittävästi pienempi kuin muilla menetelmillä.

Ylitys- ja alitusprosenttien laskenta poikkeaa toisistaan eri menetelmillä. Poranäytteillä ylitykset ja alitukset lasketaan tilastomatematisesti keskiarvon ja keskihajonnan perusteella. Päällystetutkalla ylitykset ja alitukset lasketaan ylittävien tai alittavien metrien suhteella kokonaismittauspituuteen. DOR-menetelmällä lasketaan vastaavasti, mutta ylitystä tai alitusta painotetaan sen suuruudella eikä koko kohdetta ole yli kahden kilometrin kohteissa mitattu.

Ylitysprosenttien osalta oli selviä eroja. Poranäytteiden perusteella arvonmuutoksia ylityksen osalta olisi tullut kahdeksassa kohteessa yhdestätoista. Päällystetutkalla arvonmuutoksia olisi syntynyt kahdessa kohteessa. Mt 849:llä poranäytteillä ja päällystetutkalla ylitysprosentti oli molemmilla menetelmillä 90 prosentin luokkaa. On kuitenkin muistettava, että kyseessä

oli päällystysmenetelmän koekohde. DOR-mittauksia ei kohteesta tehty. DOR-menetelmällä arvonmuutoksia ylityksen osalta ei olisi tullut yhdessäkään kohteessa. Alitusten osalta erot olivat pieniä. Porapalojen perusteella alitusta arvonmuutoksen verran oli Vt 3:lla. Muilla menetelmillä arvonmuutoksia alituksen perusteella ei olisi syntynyt.

Tulosten ja aikaisempien tutkimusten perusteella voidaan todeta, että päällystetutkaa voidaan käyttää yhtenä päällysteen tiiviyn laadunarviointimenetelmänä, kun mittaukset kalibroidaan luotettavasti käytettävälle masalle. Korrelaatiot eri menetelmien välillä ovat erittäin vahvoja. Tulosten tasoissa on jonkin verran eroja.

Menetelmän etuja on mittaamisen nopeus. Mittaukset tapahtuvat liikennevirran mukana noin 50 km/h nopeudella. Mitattavasta kohteesta mitataan läpi asti vähintään yksi mittalinja kaistalta, jolloin tuloksista saadaan jatkuva profiili koko kohteesta. Samoista mittaustuloksista voidaan päivittää KURRE:n maatutkamittaustiedot, uutta mittausta ei siis tarvita, tulosten tulkinta vain viedään pidemmälle. Lisäksi tilastomatemaattista laskelmaa ei tarvitse, vaan ylitysprosentti saadaan suoraan ylittävien osuuksien ja koko mittauspituuden suhteella.

Raja-arvoina arvonmuutoksille käytetään päällystetutkalla samoja raja-arvoja kuin porapaloille ja DOR-menetelmälle. Keskihajonnan perusteella ei arvonmuutoslaskelmia tehdä. Päällystetutkamittausten ja -analysointien työhöje on tämän raportin toisessa osassa. Työhöjeessä esitetään mittausmenetelmä, kalibrointinäytteiden ottamisen määrittäminen, tulosten käsittely ja analysointi sekä ylitys- ja alitusprosenttien laskenta. Samoin toisessa osassa on esitetty arvonmuutosperusteiden raja-arvot.

6 PÄÄLLYSTETUTKAN TYÖOHJE TYHJÄTILAMITTAUKSIIN

6.1 Teoria

Menetelmässä tyhjätilan ja paksuuden määrittäminen perustuu materiaalin dielektrisyysvaihteluihin. Dielektrisyys on yksi materiaalin sähköisiä ominaisuuksia kuvaava suure. Tyhjätilamäärittämisessä lähtökohtana on, että päällysteen dielektrisyys on päällysteen komponenttien funktio. Tiivistettäessä päällysteen tyhjätila pienenee, jolloin ilman osuus päällysteessä vähenee ja suuremman dielektrisyys omaavien bitumin ja kiviaineksen suhteellinen osuus kasvaa. Päällysteen dielektrisyys siis kasvaa tiivistyksen vaikutuksesta.

Dielektrisyysien laskennassa käytetään kartiotorviantennille hyvin soveltuva heijastustekniikka. Mittaus perustuu sähköisistä rajapinnoista tapahtuviin heijastuksiin. Antenni lähettää sähkömagneettisia pulsseja, joiden rajapinnoista tapahtuvat heijastukset rekisteröidään vastaanottavan antennin avulla. Heijastustekniikkaa on kuvattu tarkemmin useissa julkaisuissa, mm. Maser and Scullion 1991, Maser 1992. Mittaustuloksista tallennetaan neljä mittausta metrille. Mittaustuloksina lasketaan rajapinnoista tapahtuneiden heijastusamplitudien suuruudet ja pulssin kaksinkertainen kulku-aika rajapinnasta toiselle eli päällysteen pinnasta päällysteen pohjaan ja takaisin.

6.2 Laitteisto

Laitteistona käytetään maatutkan laatuvaatimukset (Scullion, Lau, Saarenketo 1996) täyttävää maatutkakalustoa, joka on varustettu 1 GHz:n kartiotorviantennilla. Kokonaisuutta nimitetään tässä ohjeessa päällystetutkaksi. Kartiotorviantenni on ns. ilmastantenni, jolloin antenni kulkee noin 0,5 metrin korkeudella tien pinnasta.

6.3 Mittaus

Mittauksissa tallennetaan neljä mittaustulosta metriä kohden. Mittausaikana käytetään 20 nanosekuntia. Suurin mittaussopeus on 50-60 km/h. Mittaus tehdään jatkuvana mittauksena kohteen alusta kohteen loppuun. Mittauslinjojen määrästä ja pituudesta sovitaan tilaajan kanssa erikseen. Peruslähtökohtana on, että mitataan kaikista päällystetyistä kaistoista yksi ajoura, joka yleensä on ulkoura. Samalla mittauksella saadaan tarvittavat tiedot sekä päällysteen tyhjätilan että päällysteen kokonaispaksuuden määrittämistä varten. Paksuustiedot voidaan päivittää esimerkiksi KURRE:en.

Mittauksia rajoittavat tekijät:

Vesisateella tai tien pinnan ollessa märkä ei saa mitata. Mittauksia ei saa myöskään suorittaa maan ollessa jäässä.

6.4 Tyhjätilan laskenta

Tyhjätila-arvot lasketaan dielektrisyyksien keskiarvoon perustuvalla menetelmällä. Menetelmässä käytetään hyväksi tutkimuksia, joissa on laboratorio-kokeiden avulla määritetty funktio dielektrisuuden ja tyhjätilan välille (Roimela 1998). Menetelmää varten porataan mittausten ja työmaalla tapahtuvan dielektrisyyksien keskiarvon laskennan jälkeen kalibroitinäytteet työkohteesta 1-2:sta eri paikasta päällystetutkalla mitattua keskimääräistä dielektrisyttä vastaavista pisteistä. Näytteenotto ohjataan siis dielektrisyyksien avulla oikeisiin kohtiin. Kalibroitinäytteiden avulla määritetään päällysteen tyhjätilojen laskemiseen tarvittava kalibrintikerroin. Tyhjätilan y laskenta-kaava on esitetty kaavassa 1:

$$y = 272,93e^{-1,3012k\epsilon_x}, \quad x \text{ välillä } 1 < x < n \quad (1)$$

missä: k on kalibrintikerroin
 ϵ_x on mitattu dielektrisyysarvo

Menetelmä on kuvattu tarkemmin julkaisussa "Päällystetutkatutkimukset 1996-1997" (Roimela 1998).

6.5 Tulokset

Tulokset esitetään jatkuvana profiilina (esim. Excel -kaavio) tai karttapohjalla (esim. T&M Map). Tarvittaessa voidaan tulostaa tulokset myös numeerisessa muodossa. Kohteesta lasketaan keskiarvo, keskihajonta sekä ylitys- ja alitusprosentit. Kuvaajat piirretään jokaiselta mittalinjalta erikseen.

Tyhjätiloille lasketaan annetuille raja-arvoille ylitys- ja alitusprosentit. Raja-arvoina käytetään Asfalttinormeissa (PANK 1995) esitettyjä raja-arvoja tai tilaajan ja urakoitsijan erikseen sopimia raja-arvoja. Tarvittaessa voidaan esittää korjaamista vaativat, rajojen ulkopuolelle jäävät alueet yhden metrin tarkkuudella. Ylitys/alitusprosentti z lasketaan kaavalla 2:

$$z = \frac{y_i}{s} * 100\% \quad (2)$$

missä: y_i on kohteessa olevien ylitysten/alitusten pituus metreinä
 s on kohteessa tehtyjen mittausten yhteispituus metreinä

Tarkkuus:

Päällysteen tyhjätilamääritysten keskivirhe on 0,9 prosenttiyksikköä. Vertailu on tehty poranäytetuloksiin.

7 ARVONMUUTOSPERUSTEET

Liitteenä 5 on Seppo Järvisen Inframan Oy:stä tekemät laskelmat ja johtopäätökset hajontatekijöiden vaikutuksesta ja luottamusväleistä. Aineistona käytettiin vuosien 1996-1997 päällystetutkatutkimusten aineistoa, joka vertailtiin yksittäisiä mittaustuloksia. Koko aineistoa tarkasteltaessa päällystetutkamenetelmä poranäytteisiin nähden toimii hyvin. Hajontatekijöiden vaikutus on pieni. Kun aineisto jaetaan kolmeen luokkaan, AB, SMA ja muut päällysteet, niin muuten tulokset ovat samansuuntaiset kuin koko aineistolla, mutta SMA:lla selitysaste jää alhaiseksi. Tähän on suurimpana syynä aineiston suppeus ja vähyys. Lisäksi tuloksista nähdään, että kalibrointiin täytyy tehdä erittäin huolellisesti mitattavalle massalle.

Tilastollisen analyysin perusteella voidaan arvonmuutosperusteina päällystetutkamittauksissa käyttää samoja raja-arvoja ja samoja arvonmuutosprosentteja kuin käytetään poranäytteille. Nämä raja-arvot on esitetty julkaisussa "Päällystystöiden yleiset arvonmuutosperusteet (Tielaitos 1998). Erona on, että päällystetutkalla ylitys- tai alitusprosentti saadaan suoraan ylittävien tai alittavien metrien suhteella kokonaismittauspituuteen. Tilastomatemaattista laskentaa ei siis käytetä. Taulukossa 6 on esitetty päällystetutkamittauksissa ylityksille käytettävät raja-arvot.

Taulukko 6. Tyhjätilaylitusten arvonmuutos.

Tyhjätilaylitys- Prosentti	Arvonmuutosprosentti Kohteen urakkasummasta	
	AB, EA, SMA	ABK
≤ 5	0	0
10	- 5	0
15	- 10	- 5
20	- 15	- 10
25	- 20	- 15
≥ 30	- 25	- 20
Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti		

Jos suunnitelmissa päällyste on edellytetty arvosteltavan myös tyhjätila-alitusten osalta, niin arvonmuutokset ovat taulukon 7 mukaiset.

Taulukko 7. Tyhjätila-alitusten arvonmuutos.

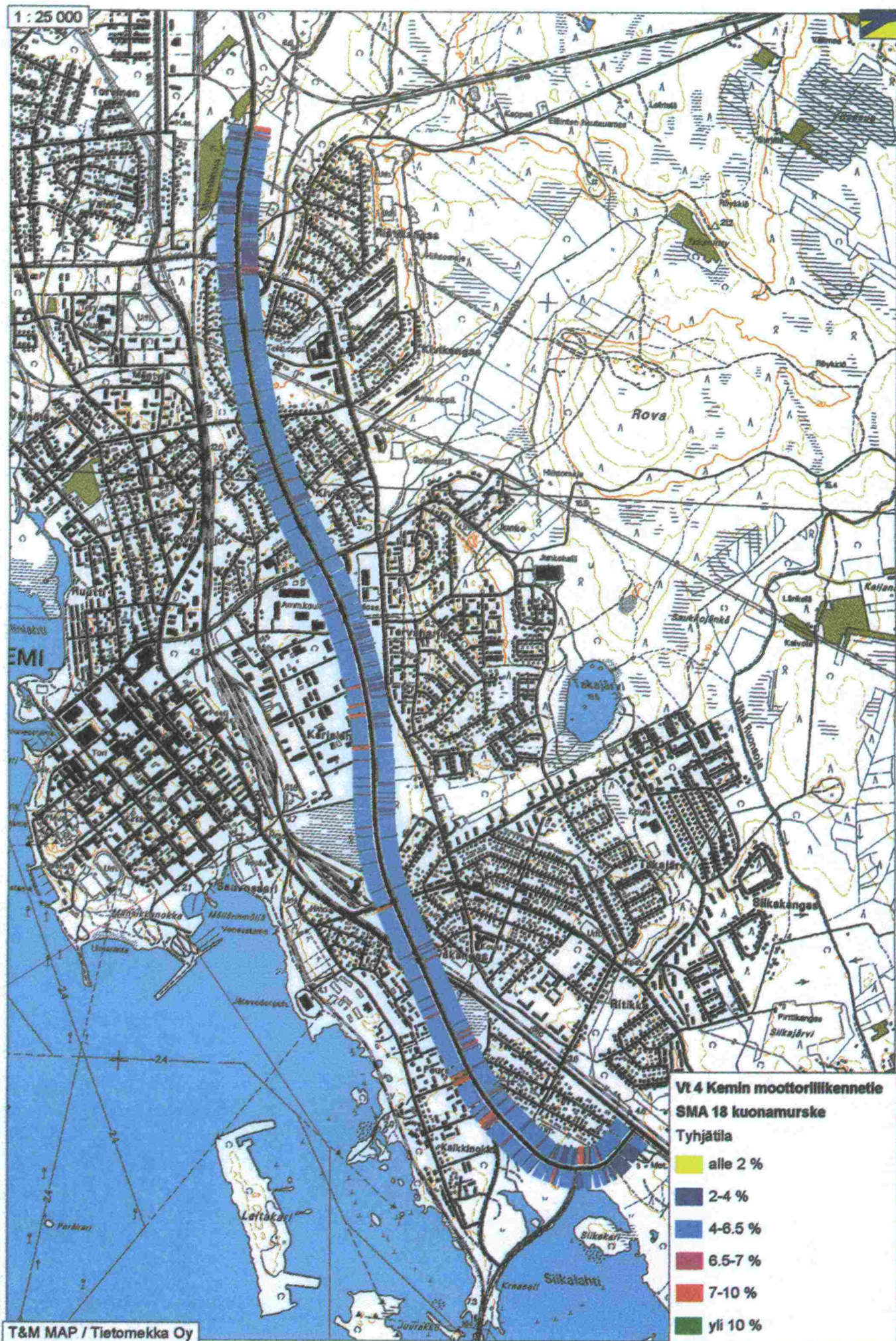
Tyhjätilaylitys- Prosentti	Arvonmuutosprosentti Kohteen urakkasummasta	
	AB, EA, SMA	ABK
≤ 10	0	0
20	- 5	- 2,5
25	- 10	- 5
≥ 30	- 15	- 10
Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti		

KIRJALLISUUSLUETTELO

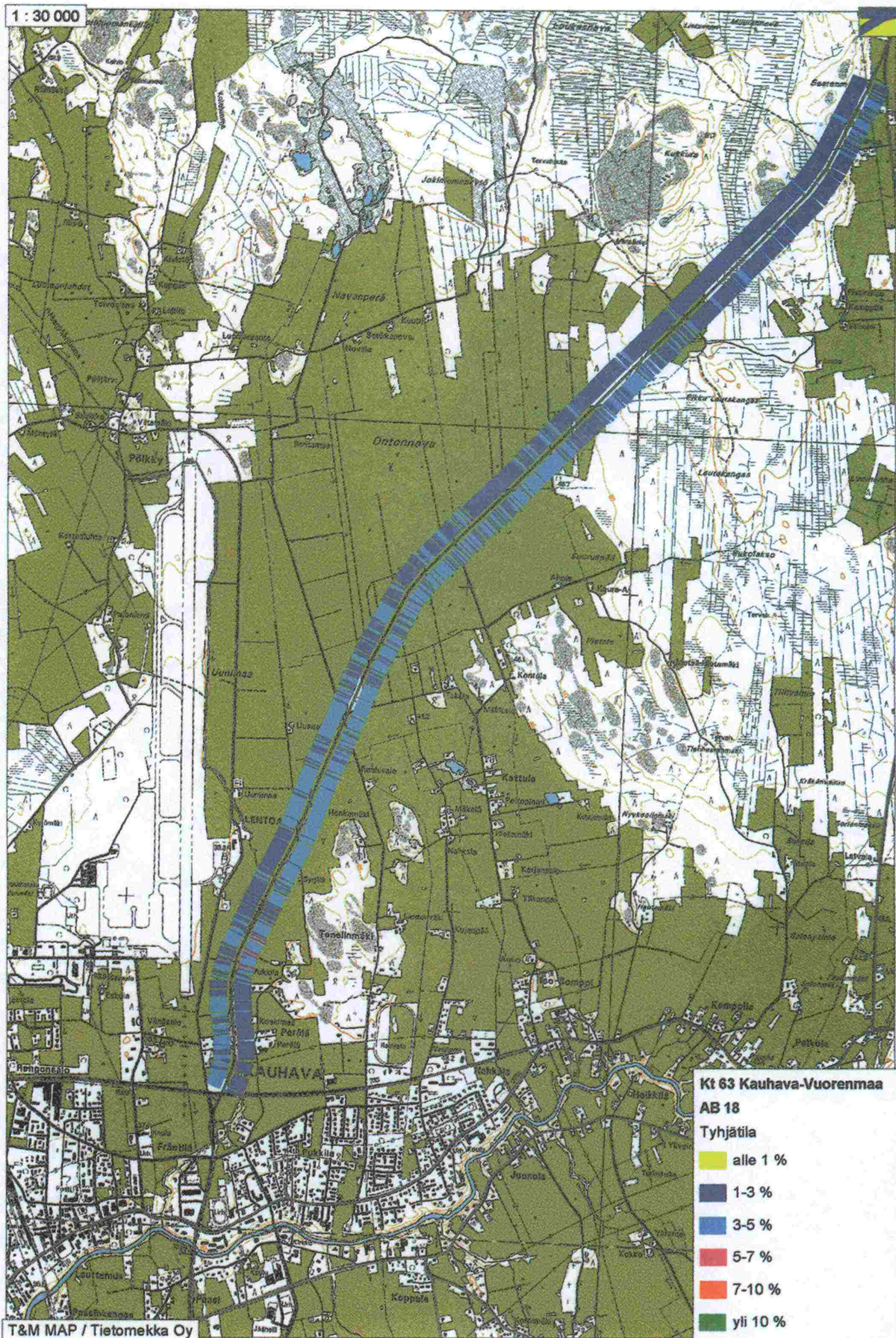
1. Aurinko H., DOR -menetelmän käyttö asfalttipäällysteiden tiiviiden määrittämisessä. Tielaitos, Kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä. Helsinki 1994.
2. Asfalttinormit 1995. Päällystealan neuvottelukunta ry. Helsinki 1995.
3. Maser K., Roddis W.M.K., Attoh-Okine B., Evaluation of Automated Pavement Thickness Profiling Using Radar. The Kansas Transportation Research and New Developments Program K-Tran, Project Number KU-91-3. University of Kansas. Lawrence, Kansas 1992.
4. Maser K., Scullion T., Use of Radar Technology for Pavement Layer Evaluation. Research Report 930-5F. Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System. College Station, Texas 1991.
5. PANK-menetelmät, kansio. Päällystealan neuvottelukunta ry. 1998.
6. Päällystystöiden yleiset arvonmuutosperusteet. Tielaitos, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki 1998.
7. Roimela P., Päällystetutkan käyttö päällysteiden laadunvalvonnassa. Diplomityö. Oulun yliopisto, rakentamistekniikan osasto. Oulu 1997.
8. Roimela P., Päällystetutkatutkimukset 1996-1997. Tielaitos, Lapin tiepiiri. Tielaitoksen selvityksiä. Helsinki 1998.
9. Roimela P., Saarenketo T., Using Ground Penetrating Radar and Dielectric Probe in Asphalt Pavement Quality Control. Proceedings of 1st World Conference on Highway Surfacing. Budapest, Hungary, 1998.
10. Saarenketo T., Maatutkan ja dielektrisyyssondin käyttö päällysteen tyhjätilan ja/tai bitumipitoisuuden mittauksissa. Aloite 31.3.1996. Tielaitos, Lapin tiepiiri. Rovaniemi 1996.
11. Saarenketo T., Using Ground Penetrating Radar and Dielectric Probe Measurements in Pavement Density Quality Control. Transportation Research Board. Washington D.C. 1997, p.34-41.
12. Saarenketo T., Roimela P., Ground Penetrating Radar Technique in Asphalt Pavement Density Quality Control. Proceedings of Seventh International Conference on Ground-Penetrating Radar, Volume 2, Lawrence, Texas, 1998. p. 461-466.
13. Scullion T., Lau C. L., Saarenketo T., Performance Specifications of Ground Penetrating Radar. Proceedings of Sixth International Conference on Ground-Penetrating Radar. Sendai, Japan, 1996. p. 341-346.

LIITTEET

1. Päällystetutkatulokset: tyhjättilakartta Vt 4 Kemin moottoriliikennetie
1:25 000
2. Päällystetutkatulokset: tyhjättilakartta Kt 63 Kauhava-Vuorenmaa
1:30 000
3. Päällystetutkatulokset: tyhjättilakartta Mt 1324 Lahnus-Klaukkala 1:25 000
4. Tasokuva tyhjättiloista Mt 849 Puurukoski-Kylmäoja, 0-700 m. Kahdeksan
mittalinjaa.
5. Maatutkan ja poranäytteiden välinen vastaavuus, Seppo Järvinen
Inframan Oy, tilastoanalyysi



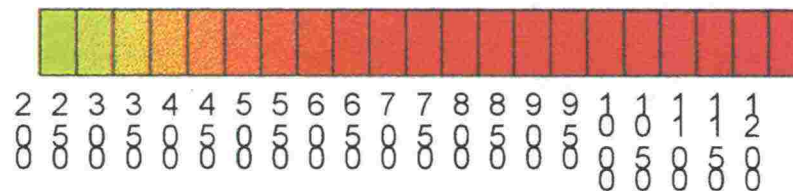
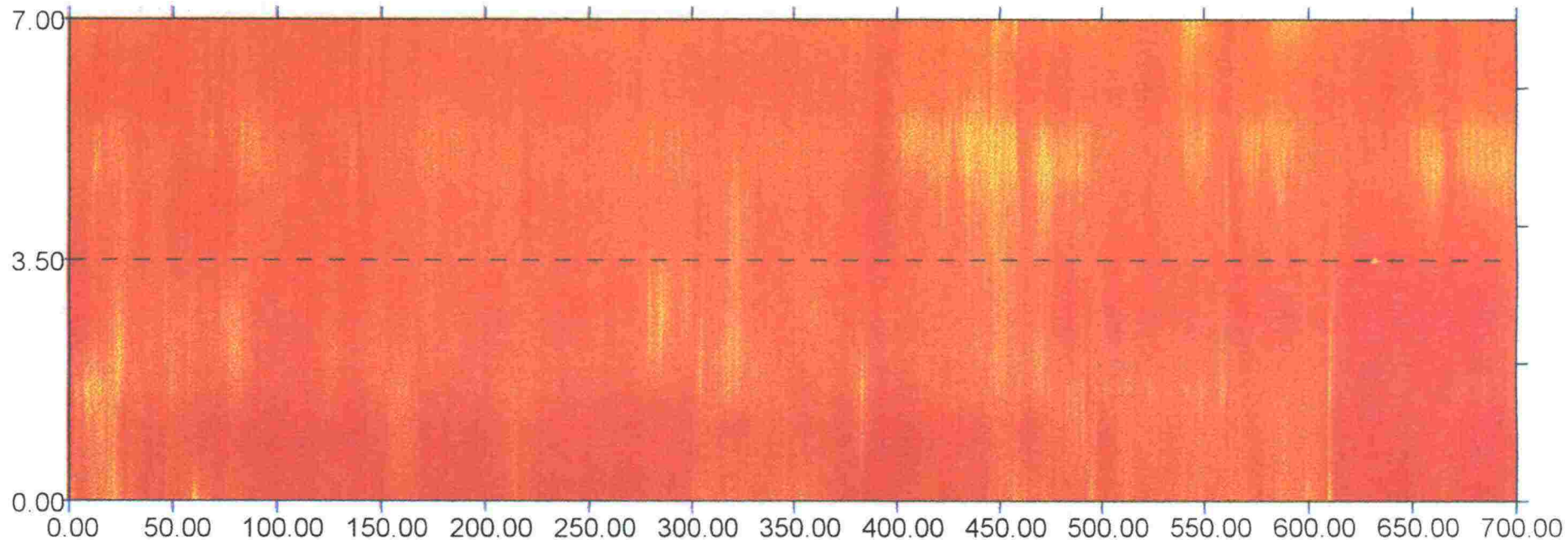
1 : 30 000



1 : 25 000



PÄÄLLYSTEEN TYHJÄTILAT, MT 849, 0 - 700m



Tyhjätilat 2,0-12,0 prosenttia

Maatutkan ja poranäytteiden välinen vastaavuus

Seppo Järvinen
INFRAMAN OY
5.2.1999

Aineisto

Aineistona on vuosina 1996 ja 1997 mitatut kohteet. Ne valittiin kattamaan erityyppisiä päälysteitä: AB, SMA ja PAB. SMA-tyyppisiltä päälysteiltä tyhjättila-arvoja on liian suppealta alalta. Muiden päälysteiden Sekä poranäytteiden että tutkimittarin tyhjättila-arvojakauma kattaa hyvin tyypilliset havainnot.

Menetelmät

Lineaarisella regressioanalyysillä tutkittiin kuinka hyvin tutkahavainnoilla kyettiin selittämään poranäytteiden tyhjättila-arvot. Regressiomallin tuloksissa *selitysasteen* on oltava yli 50 %, jolloin voidaan sanoa, että 50 % kokonaisvaihtelusta kyettiin hallitsemaan valitun selittäjän avulla. Vastaavassa tilanteessa 50 % vaihtelusta oli selittämätöntä sisältäen mittareiden virhelähteet, olosuhdehäiriötekijät ja ilmastotekijät.

Malli on muotoa

$$y_{\text{poranäyte}} = \alpha + \beta \times X_{\text{tutkahav}} + \varepsilon, \text{ missä}$$

α = regressiovakio (keskimääräinen "taso")
 β = regressiokerroin (kulmakerroin)
 ε = virhetermi (sisältää mittarivirheet, olosuhdehäiriötekijät jne...).

Virhetermin ε on oltava normaali jakautunut.

Selittäjien vaikutus selitettävään muuttujaan testataan t-testisuureella. Nollahypoteesi on, ettei selittäjää X tarvita mallissa lainkaan. *Riittävän suuri t-arvo* ja tätä vastaava riittävän pieni *p-arvo* (alle 5 %) aiheuttaa nollahypoteesin hylkäyksen, jolloin voimme sanoa, että *selittäjä X on tilastollisesti merkitsevä selittäjä vasteelle Y*.

Regressiomallin parametrien tarkkuus

- **Regressiovakion luottamusväli valitulla riskitasolla δ**

Yleensä puhutaan 95 % luottamusvälistä, joka tarkoittaa sitä, että 95 % todennäköisyydellä umpimähkään valittu havainto kuuluu estimoidulle suljetulle välille.

Tällöin regressiovakiolle saadaan kaava

$$\hat{\alpha} - t_{\delta/2}(n-2) \times v(\hat{\alpha}) \leq \alpha \leq \hat{\alpha} + t_{\delta/2}(n-2) \times v(\hat{\alpha}), \text{ missä}$$

regressiovakion keskivirhe on

$$v(\hat{\alpha}) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 \times \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{(n-1)s_x^2} \right)}$$

$\hat{\alpha}$	= regressiovakion estimaatti
$t_{\delta/2}(n-2)$	= student-jakauman fraktiili annetulla riskitasolla δ
$\hat{\sigma}^2$	= regressiomallin kokonaisvarianssi
\bar{x}	= selittäjän X odotusarvo
s_x^2	= selittäjän X varianssi.

Regressiokertoimen luottamusväli valitulla riskitasolla δ

Regressiokertoimelle saadaan kaava

$$\hat{\beta} - t_{\delta/2}(n-2) \times v(\hat{\beta}) \leq \beta \leq \hat{\beta} + t_{\delta/2}(n-2) \times v(\hat{\beta}), \text{ missä}$$

regressiokertoimen keskivirhe on

$$v(\hat{\beta}) = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{(n-1) \times s_x^2}}$$

$\hat{\beta}$ = regressiokertoimen estimaatti

$t_{\delta/2}(n-2)$ = student-jakauman fraktiili annetulla riskitasolla δ

$\hat{\sigma}^2$ = regressiomallin kokonaisvarianssi

s_x^2 = selittäjän X varianssi.

Tulokset

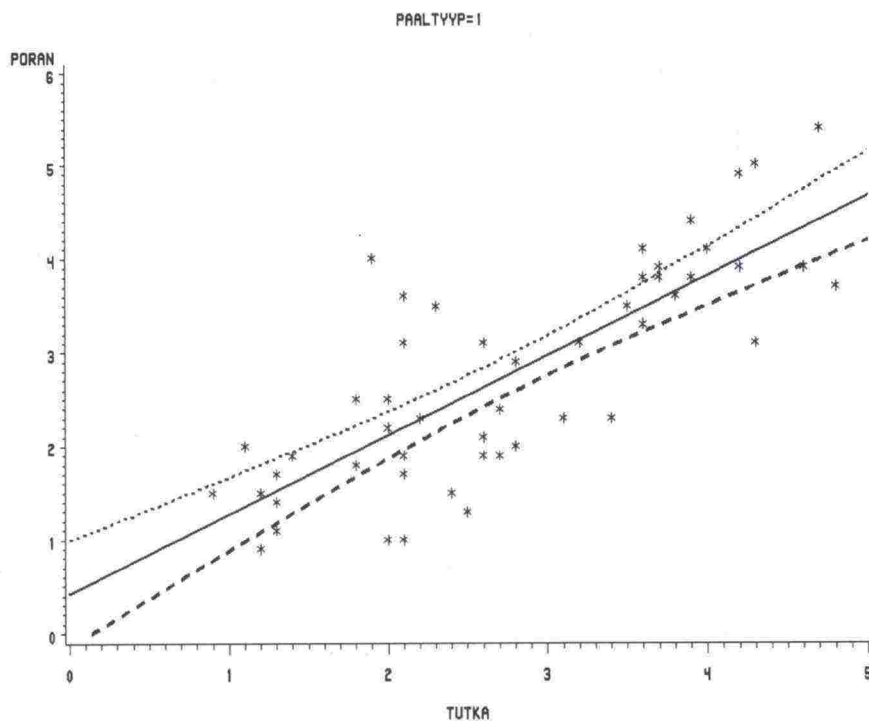
Normaalit AB-tyyppiset päällysteet (p-tyyppi = 1).

$$y_{\text{poranäyte}} = 0.42 + 0.85 \times X_{\text{tutkaha}}.$$

Tekijä	Estimaatti	95 % luottamusväli	p-arvo
Vakio	0.42	$-0.13 \leq \alpha \leq 0.96$	0.14
Kerroin	0.85	$0.67 \leq \beta \leq 1.05$	0.0001

Selitysasteeksi tuli 62 %, jota voidaan pitää varsin hyvänä.

Kuva 1. AB-päällysteellä regressiosuoran kuvaaja ja sen 95 prosentin luottamusväli (katkoviivalla).



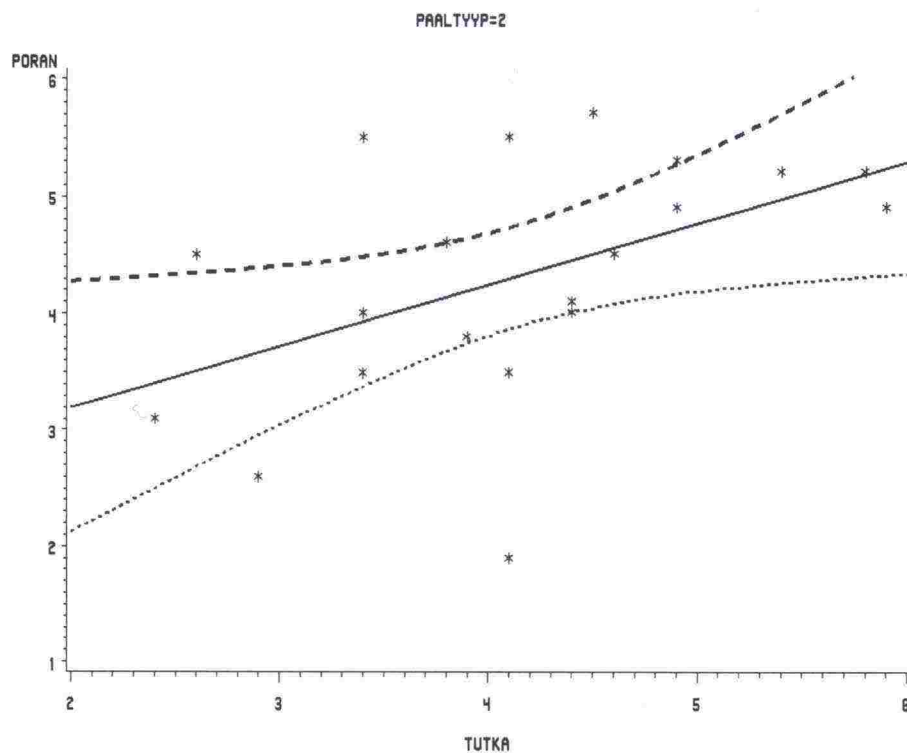
SMA-tyyppiset päällysteet (p-tyyppi = 2).

$$y_{\text{poranäyte}} = 2.16 + 0.52 \times X_{\text{tutkaha}}.$$

Tekijä	Estimaatti	95 % luottamusväli	p-arvo
Vakio	2.16	$0.34 \leq \alpha \leq 3.98$	0.03
Kerroin	0.52	$0.09 \leq \beta \leq 0.95$	0.03

Selitysasteeksi tuli 24 %, joka on varsin pieni. Satunnaisvaihtelun osuudeksi ”jää” 76 % ja osaselitys onkin varmasti havaintojen kasautuminen pienelle arvoalueelle nimenomaan tällä päällystetyypillä.

Kuva 2. SMA-päällysteellä regressiosuoran kuvaaja ja sen 95 prosentin luottamusväli (katkoviivalla).



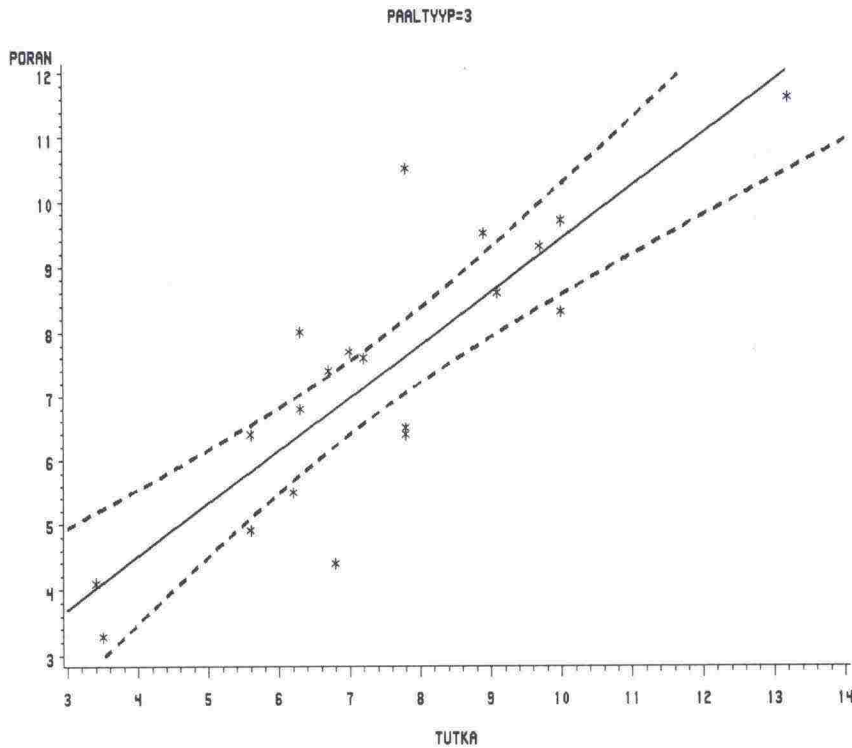
PAB- tyyppiset päällysteet (p-tyyppi = 3).

$$y_{\text{poranäyte}} = 1.24 + 0.82 \times X_{\text{tutkahav}}$$

Tekijä	Estimaatti	95 % luottamusväli	p-arvo
Vakio	1.24	$-0.56 \leq \alpha \leq 3.00$	0.20
Kerroin	0.82	$0.59 \leq \beta \leq 1.05$	0.0001

Selitysasteeksi tuli 72 %, jolloin voidaan sanoa tutkahavainnon ja poranäytteen vastaan melkoisen hyvin toisiaan.

Kuva 3. PAB-päällysteellä regressiosuoran kuvaaja ja sen 95 prosentin luottamusväli (katkoviivalla).



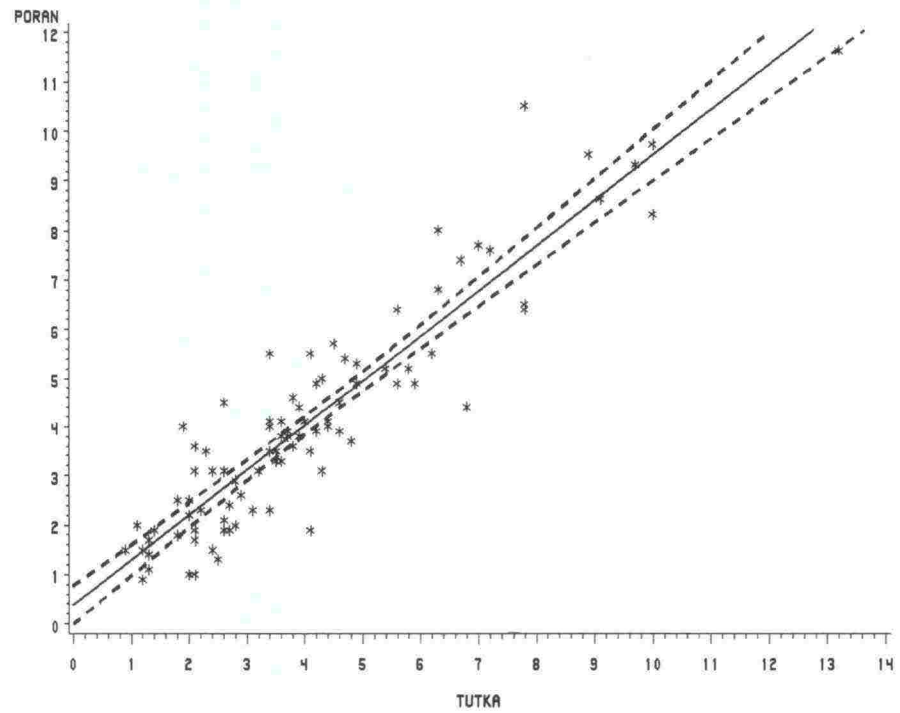
Koko aineiston tulokset

$$y_{\text{poranäyte}} = 0.38 + 0.91 \times X_{\text{tutkahav}}$$

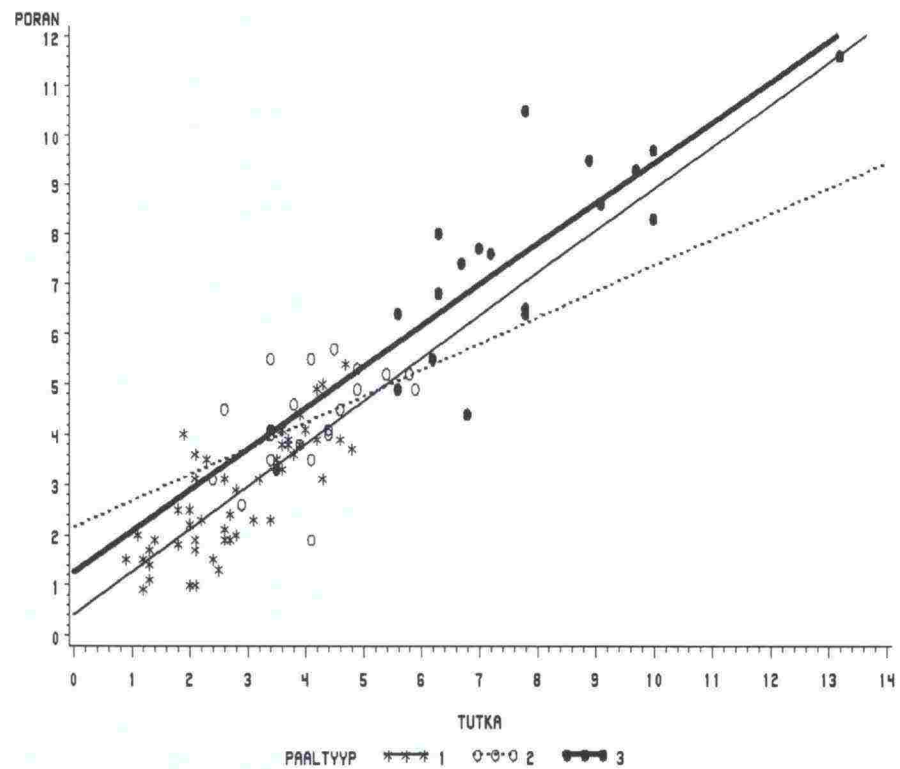
Tekijä	Estimaatti	95 % luottamusväli	p-arvo
Vakio	0.38	$0.01 \leq \alpha \leq 0.75$	0.20
Kerroin	0.91	$0.83 \leq \beta \leq 0.99$	0.0001

Selitysasteeksi tuli 85 %, jolloin voidaan sanoa tutkahavainnon ja poranäytteen vastaavan melkoisen hyvin toisiaan.

Kuva 4. Koko aineiston regressiosuoran kuvaaja ja sen 95 prosentin luottamusväli (katkoviivalla).



Kuva 5. Eri päällystetyyppien regressiosuoran kuvaajat samassa koordinaatistossa.



Päällystetyyppi: 1 = AB, 2 = SMA, 3 = PAB.

Pohdinta

Tuloksista seuraa, että AB ja PAB-teillä maatutkamittarin mittaustuloksiin voidaan luottaa, jos vertailukohtana on poranäytteet. SMA-päällysteillä aineistoa ei ollut riittävästi, jotta hyviin selittyvyysiin oltaisiin päästy. Tulkitsen asian niin, että maatutka kykenee mittaamaan samalla tavalla tyhjätila-arvoja kuin poranäytteestä saadut tyhjätila-arvot kunhan riittävän laajaa aineistoa olisi analysoitavissa.

Kuva 5 edellisellä sivulla on hyvä esimerkki päällysteiden erilaisuudesta. Samasta kuvasta nähdään, kuinka SMA-päällysteiden havainnon ovat yhdessä, pienessä, ryppäässä (o-symboli).

KAIKKI PÄÄLLYSTEET

Dependent Variable: PORAN

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	405.70193	405.70193	498.712	0.0001
Error	88	71.58796	0.81350		
C Total	89	477.28989			

Root MSE	0.90194	R-square	0.8500
Dep Mean	4.12111	Adj R-sq	0.8483
C.V.	21.88590		

Variable	DF	Parameter Estimate	Estimates Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	0.379478	0.19264174	1.970	0.0520
TUTKA	1	0.910619	0.04077669	22.332	0.0001

PAALTYYP=1

Model: MODEL1

Dependent Variable: PORAN

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	41.07917	41.07917	79.834	0.0001
Error	48	24.69863	0.51455		
C Total	49	65.77780			

Root MSE	0.71732	R-square	0.6245
Dep Mean	2.76200	Adj R-sq	0.6167
C.V.	25.97121		

Variable	DF	Parameter Estimate	Estimates Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	0.423045	0.28074336	1.507	0.1384
TUTKA	1	0.847448	0.09484573	8.935	0.0001

PAALTYYP=2

Model: MODEL1

Dependent Variable: PORAN

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	4.82646	4.82646	5.656	0.0287
Error	18	15.35904	0.85328		
C Total	19	20.18550			

Root MSE	0.92373	R-square	0.2391
Dep Mean	4.31500	Adj R-sq	0.1968
C.V.	21.40745		

Variable	DF	Parameter Estimate	Estimates Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	2.158400	0.93000493	2.321	0.0322
TUTKA	1	0.520289	0.21876414	2.378	0.0287

PAALTYYP=3

Model: MODEL1

Dependent Variable: PORAN

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	67.14163	67.14163	46.887	0.0001
Error	18	25.77587	1.43199		
C Total	19	92.91750			

Root MSE	1.19666	R-square	0.7226
Dep Mean	7.32500	Adj R-sq	0.7072
C.V.	16.33664		

Variable	DF	Parameter Estimate	Estimates Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	1.243678	0.92755571	1.341	0.1967
TUTKA	1	0.816833	0.11929101	6.847	0.0001

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-496-8